

EXPLORACIÓN DE ASPECTOS TEÓRICOS Y PRÁCTICOS RELACIONADOS CON EL DESARROLLO DE INTERFACES DE USUARIO TANGIBLES - TUI –

POR: KELLY JOHANA CORDOBA QUINTANA

CÓDIGO: 201410029

KELLY.JOHANA.CORDOBA@CORREOUNIVALLE.EDU.CO

Trabajo de grado para optar por el título de Ingeniería de Sistemas

Universidad del Valle

Facultad de Ingeniería

Escuela de Ingeniería de Sistemas y Computación

Cali, Valle del Cauca, Colombia

Junio 2017

EXPLORACIÓN DE ASPECTOS TEÓRICOS Y PRÁCTICOS RELACIONADOS CON EL DESARROLLO DE INTERFACES DE USUARIO TANGIBLES - TUI –

POR: KELLY JOHANA CORDOBA QUINTANA

CÓDIGO: 201410029

KELLY.JOHANA.CORDOBA@CORREOUNIVALLE.EDU.CO

Trabajo de grado para optar por el título de Ingeniería de Sistemas

Director: Paola Johanna Rodríguez Carrillo, Ph.D.

Codirector: Javier Reyes, Ms.C.



Facultad de Ingeniería

Escuela de Ingeniería de Sistemas y Computación

Cali, Valle del Cauca, Colombia

Junio 2017

AGRADECIMIENTOS

Le doy gracias a mis padres Edinson y Sirley, por ser mi apoyo en todo momento, por los valores que me han inculcado, y por la confianza al darme la oportunidad de realizarme profesionalmente.

Agradezco la confianza, el apoyo, la colaboración y la dedicación de tiempo a mis profesores Paola y Javier, durante el transcurso del trabajo de grado.

A mis compañeros Madeleine, Yully y Fernando, por ser parte importante en mi vida, gracias por el apoyo, comprensión y sobre todo por la amistad.

LISTA DE ACRÓNIMOS

Technological Acronyms

TUI	Tangible User Interface
HCI	Human-Computer Interaction
IPO	Interacción Persona-Ordenador
GUI	Graphical User Interface
MVC	Model-View-Controller
CHI	Computer-Human Interaction
QR	Quick Response code
RFID	Radio-frequency identification
NFC	Near Field Communication
UML	Unified Modeling Language
TUIML	Tangible User Interface Modelling Language
GME	Generic Modeling Environment
RF	Radio Frequency
TAC	Token and Constraint
MIDI	Musical Instrument Digital Interface
TUIO	Tangible User Interface Objects
PWM	Pulse Width Modulation
URP	Urban Planning

LISTA DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1. Taxonomías para clasificar una TUI (Imagen propia).....	12
Ilustración 2. (O. Zi. Shaer, 2008). Diseño del contestador automático de canicas de (Crampton-Smith 1995).....	16
Ilustración 3. (O. Shaer & Jacob, 2009). Modelo de dos niveles (Dialogo-Interacción) para describir el comportamiento de una TUI.....	18
Ilustración 4. (O. Shaer & Jacob, 2009). Contestador automático de canicas por (Crampton & Smith, 1995).....	18
Ilustración 5. (O. Zi. Shaer, 2008). Diagramas de interacción para el contestador automático de canicas, al lado derecho es para devolver las llamadas y al lado izquierdo para reproducir el mensaje guardado en la canica.	19
Ilustración 6. (Pomares Baeza, 2009). Estructura básica de la programación de Arduino®.....	20
Ilustración 7. Menú, prototipo experimental de una TUI (Imagen propia del prototipo creado)	26
Ilustración 8. Practica de Hardware y Software con un Arduino® uno (Imagen propia).	27
Ilustración 9. Descripción de los elementos visuales del Menú (Imagen propia del prototipo creado).	28
Ilustración 10. Fragmento de código del prototipo de menú.	29
Ilustración 11. Seleccionar un plato (Imagen propia).	29
Ilustración 12. Diseño inicial del menú (Imagen propia del prototipo creado).	30
Ilustración 13. Visualización general del estado del Menú (Imagen propia).	30
Ilustración 14. Diagrama de tarea creado para el menú, Eventos generados desde el mundo físico desencadenan una serie de instrucciones en el mundo digital (Imagen propia).	31
Ilustración 15. Descripción de los elementos visuales del TouchTUI (Imagen propia del prototipo creado).	32
Ilustración 16. Fragmento de código del TouchTUI como piano (Imagen propia).	32
Ilustración 17. Fragmento de código del TouchTUI como controlador MIDI (Imagen propia).	33
Ilustración 18. Tocar una tecla (Imagen propia).	33
Ilustración 19. Diseño inicial del TouchTUI como piano (Imagen propia).	34

Ilustración 20. Visualización general del estado de TouchTUI (Imagen propia).	34
Ilustración 21. Diagrama de tarea creado para el TouchTUI, Eventos generados desde el mundo físico desencadenan una serie de instrucciones en el mundo digital (Imagen propia).	34
Ilustración 22. AnimalesTUI y sus componentes físicos (Imagen propia del prototipo creado).	35
Ilustración 23. Estructura del código de AnimalesTUI (Imagen propia del prototipo creado).	36
Ilustración 24. Sujetar y colocar la figura del animal en su correspondiente posición (Imagen propia).	36
Ilustración 25. Diseño inicial del TouchTUI como teclado MIDI (Imagen propia).	36
Ilustración 26. Visualización general del estado de TouchTUI (Imagen propia).	37
Ilustración 27. Diagrama de tarea creado para el AnimalesTUI, Eventos generados desde el mundo físico desencadenan una serie de instrucciones en el mundo digital (Imagen propia).	37
Ilustración 28. (Kaltenbrunner & Bencina, 2005). Marcador Fiducial.	38
Ilustración 29. Marcador Fiducial (tomado con el programa suministrado por el framework de ReacTIVision).	38
Ilustración 30. Estructura del código de DodecaDVD (Imagen propia del prototipo creado).	39
Ilustración 31. Colocar una cara del dodecaedro en la superficie (Imagen propia). ...	39
Ilustración 32. Diseño inicial del DodecaDVD (Imagen propia).	39
Ilustración 33. Diagrama de tarea creado para el DodecaDVD, Eventos generados desde el mundo físico desencadenan una serie de instrucciones en el mundo digital (Imagen propia).	40
Ilustración 34. Touch Board (Imagen propia).	40
Ilustración 35. Tintas Electric Paint (Imagen propia).	41
Ilustración 36. Diseño final del prototipo de Menú (Imagen propia).	45
Ilustración 37. Prototipo TouchTUI (Imagen propia).	51
Ilustración 38. Porcentaje del Costo Vs. Actividad (Imagen propia).	63
Ilustración 39. Tiempo Vs. Actividad (Imagen propia).	64
Ilustración 40. Tiempo Vs. Trabajo (Imagen propia).	64
Ilustración 41. Tiempo (Porcentaje) Vs Prototipo implementado (Imagen propia). ...	66

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Resultados objetivos específicos	4
Tabla 2. Taxonomía de acuerdo a la metáfora empleada por (Fishkin, 2004).....	11
Tabla 3. (Domingo Olivera, 2011). Distinciones entre marcas fiduciales y NFC/RFID, la primera columna son los criterios de comparación y las dos últimas columnas las ventajas (+) y desventajas (-) de forma comparativa.	13
Tabla 4. Análisis comparativo de los Frameworks conceptuales.	15
Tabla 5. (O. Shaer & Jacob, 2009). Contestador automático de canicas (Crampton & Smith 1995), Cuadro con las especificaciones de los elementos que componen físicamente la TUI, Paleta de TAC.	17
Tabla 6. Plan de evaluación del prototipo de Menú.	44
Tabla 7. Visibilidad del estado del sistema del prototipo de Menú.	46
Tabla 8. Lenguaje del usuario del prototipo de Menú.	47
Tabla 9. Control y libertad para el usuario del prototipo de Menú.	47
Tabla 10. Consistencia y estándares del prototipo de Menú.	48
Tabla 11. Prevención de errores del prototipo de Menú.....	48
Tabla 12. Reconocer antes que recordar del prototipo de Menú.	49
Tabla 13. Flexibilidad y Eficiencia de uso del prototipo de Menú.	49
Tabla 14. Diseño estético y minimalista del prototipo de Menú.....	50
Tabla 15. Ayuda a los usuarios a reconocer, diagnosticar y recuperarse de los errores del prototipo de Menú.	50
Tabla 16. Ayuda general del prototipo de Menú.....	50
Tabla 17. Plan de evaluación del prototipo de TouchTUI.	52
Tabla 18. Visibilidad del estado del sistema del prototipo de TouchTUI.....	53
Tabla 19. Lenguaje del usuario del prototipo de TouchTUI.....	53
Tabla 20. Control y libertad para el usuario del prototipo de TouchTUI.....	54
Tabla 21. Consistencia y estándares del prototipo de TouchTUI.	54
Tabla 22. Prevención de errores del prototipo de TouchTUI.	54
Tabla 23. Reconocer antes que recordar del prototipo de TouchTUI.....	55
Tabla 24. Flexibilidad y Eficiencia de uso del prototipo de TouchTUI.	55

Tabla 25. Diseño estético y minimalista del prototipo de TouchTUI.	55
Tabla 26. Ayuda a los usuarios a reconocer, diagnosticar y recuperarse de los errores del prototipo de TouchTUI.	55
Tabla 27. Ayuda general del prototipo de TouchTUI.	56
Tabla 28. Plan de evaluación del prototipo de AnimalesTUI.	57
Tabla 29. Visibilidad del estado del sistema del prototipo de AnimalesTUI.	59
Tabla 30. Lenguaje del usuario del prototipo de AnimalesTUI.	59
Tabla 31. Control y libertad para el usuario del prototipo de AnimalesTUI.	59
Tabla 32. Consistencia y estándares del prototipo de AnimalesTUI.	60
Tabla 33. Prevención de errores del prototipo de AnimalesTUI.	60
Tabla 34. . Reconocer antes que recordar del prototipo de AnimalesTUI.	61
Tabla 35. Flexibilidad y Eficiencia de uso del prototipo de AnimalesTUI.	61
Tabla 36. . Diseño estético y minimalista del prototipo de Animales TUI.	61
Tabla 37. Ayuda a los usuarios a reconocer, diagnosticar y recuperarse de los errores del prototipo de AnimalesTUI.	61
Tabla 38. Ayuda general del prototipo de AnimalesTUI.	62
Tabla 39. Elementos tangibles empleados en la construcción de los prototipos.	65
Tabla 40. Elementos digitales empleados en la construcción de los prototipos.	65

TABLA DE CONTENIDO

Agradecimientos	III
Lista de Acrónimos	IV
Lista de ilustraciones	V
Lista de Tablas	VII
Resumen	1
Capítulo 1 Introducción general.....	2
1.1 Planteamiento del problema	2
1.2 Justificación	3
1.3 Alcance.....	3
1.4 Objetivos	3
1.4.1 Objetivo General	3
1.4.2 Objetivos Específicos	4
1.5 Resultados Obtenidos	4
Capítulo 2 Marco referencial.....	5
2.1 Glosario.....	5
2.2 Marco teórico	6
2.2.1 Definición del concepto de TUI	6
2.2.2 Caracterización de TUI	7
2.2.3 Proceso de desarrollo de TUI	12
2.2.4 Dominios de aplicación.....	22
2.2.5 Limitaciones	25
2.2.6 Ventajas.....	25
2.3 Conclusiones	25
Capítulo 3 Modelado de los prototipos desarrollados	26
3.1 Prototipo TUI: Menú.....	26
3.1.1 Identificación y asociación de los elementos estructurales de la TUI	27
3.1.2 Descripción de metáforas	27
3.1.3 Aspectos funcionales del prototipo de Menú	28
3.1.4 Diagrama de caso de uso	29
3.1.5 Prototipo de papel	29
3.1.6 Diagrama de dialogo	30
3.1.7 Diagrama de Tarea	30
3.2 Prototipo TUI: TouchTUI	31
3.2.1 Identificación y asociación de los elementos estructurales de la TUI	31
3.2.2 Descripción de metáforas	32
3.2.3 Aspectos funcionales del TouchTUI.....	32
3.2.4 Diagrama de caso de uso	33
3.2.5 Prototipo de papel	34
3.2.6 Diagrama de dialogo	34
3.2.7 Diagrama de Tarea	34
3.3 Prototipo TUI: AnimalesTUI.....	35
3.3.1 Identificación y asociación de los elementos estructurales de la TUI	35
3.3.2 Descripción de metáforas	35
3.3.3 Aspectos funcionales de AnimalesTUI.....	36
3.3.4 Diagrama de caso de uso	36

3.3.5	Prototipo de papel	36
3.3.6	Diagrama de dialogo	37
3.3.7	Diagrama de Tarea	37
3.4	Prototipo TUI: DodecaDVD	37
3.4.1	Identificación y asociación de los elementos estructurales de la TUI	38
3.4.2	Descripción de metáforas	38
3.4.3	Aspectos funcionales de DodecaDVD	38
3.4.4	Diagrama de caso de uso	39
3.4.5	Prototipo de papel	39
3.4.6	Diagrama de dialogo	39
3.4.7	Diagrama de Tarea	40
3.5	Elementos físicos empleados para la construcción de los prototipos	40
3.5.1	Menú, TouchTUI y AnimalesTUI	40
3.5.2	DodecaDVD	41
3.6	Conclusiones	41
Capítulo 4	Análisis de facilidad de uso de los prototipos desarrollados	43
4.1	Prototipo: Menú	43
4.1.1	Guion de tarea	43
4.1.2	Plan de evaluación	44
4.1.3	Primera interacción con el prototipo de Menú	44
4.1.4	Segunda iteración con el prototipo de Menú	45
4.2	Prototipo: TouchTUI	51
4.2.1	Guion de tarea	51
4.2.2	Plan de evaluación	52
4.2.3	Características y comentarios de la prueba realizada	52
4.2.4	Ausencias	53
4.2.5	Evaluación heurística	53
4.2.6	Conclusiones	56
4.3	Prototipo: AnimalesTUI	56
4.3.1	Guion de tarea	57
4.3.2	Plan de evaluación	57
4.3.3	Características y comentarios de la prueba realizada	58
4.3.4	Ausencias	58
4.3.5	Evaluación heurística	59
4.3.6	Conclusiones	62
Capítulo 5	Análisis de costos y tiempos de los prototipos desarrollados	63
5.1	Elementos tangibles	65
5.2	Elementos digitales	65
5.3	Construcción de la TUI interrelacionando los elementos tangibles-digitales	65
5.4	Conclusiones	66
Capítulo 6	Conclusiones y trabajos futuros	67
6.1	Conclusiones	67
6.2	Trabajo Futuro	68
Referencias	69

RESUMEN

La interfaz de usuario es el medio por el cual un humano puede comunicarse con su entorno y en el caso particular de la computación, el ratón y el teclado han sido las interfaces de mayor uso y explotación para interactuar con ventanas, iconos, menús, entre otros. No obstante, dado que hoy día existe una amplia variedad de dispositivos con capacidad de cómputo como son celulares, tabletas, gafas, relojes inteligentes y la diversidad de dispositivos que ha generado la Internet de las Cosas, las interfaces de usuario exploran diferentes modos de interacción que incluyen, comunicación táctil, vocal, gesticular, entre otras.

De esta forma, este trabajo de grado en la modalidad investigación, presenta una exploración de los aspectos teóricos y prácticos relacionados con el desarrollo de Interfaces de Usuario Tangibles, con el objetivo de caracterizar este tipo de interfaces y la forma cómo deben ser implementadas. Adicionalmente, se construyeron cuatro prototipos funcionales de bajo costo que permitieron corroborar empíricamente los aspectos explorados.

Finalmente, es importante mencionar que este trabajo de grado se enmarca dentro del proyecto de investigación titulado *“Lineamientos para el diseño de contenidos e información en interfaces de usuario tangibles (TUI)”*, aprobado mediante convocatoria interna de la Universidad del Valle.

Capítulo 1

INTRODUCCIÓN GENERAL

Una Interfaz de Usuario Tangible (TUI), está diseñada para dar forma física a la información digital permitiendo a los datos virtuales ser representados físicamente y ser controlados a través de la manipulación tangible (H. Ishii & Ullmer, 1997); en consecuencia, genera un cambio en la manera como las personas se relacionan con la información digital, cuyo objetivo es tomar ventaja de la interacción háptica, es decir, facilita la manipulación directa de los datos mediante mecanismos tangibles. De esta manera, el contacto del usuario con la interfaz se hace explícito (Carles F, Gallardo, & Jordà, 2009). Aunque no existe una definición formal de TUI, en la revisión de la literatura se plantean un conjunto de taxonomías con el propósito de identificar sus elementos y, si bien la caracterización es diversa, la acepción planteada por (H. Ishii & Ullmer, 1997) se mantiene.

En el presente trabajo se busca, desde el punto de vista conceptual, caracterizar los elementos de una TUI a través de la revisión de la literatura académica; y desde el punto de vista técnico y tecnológico, comprender la manera en la que se conjugan los elementos a partir del desarrollo de prototipos que permitan vislumbrar sus alcances y aplicaciones desde el punto de vista de *Hardware* y *Software*.

1.1 Planteamiento del problema

Los avances en *Hardware* y *Software* conducen a la generación de nuevas maneras de interacción humano computador; en este sentido, los medios tradicionales de comunicación como el ratón y el teclado empiezan a ser desplazados por la comunicación táctil, gesticular, de voz, de movimiento y en general, por medios que permitan reducir la brecha entre el medio físico y digital.

En ese orden de ideas, el campo de investigación de la interacción humano computador (HCI) y en particular el área de interacción, se ha encaminado al aprovechamiento del entorno físico para interactuar con información digital. Es aquí donde aparecen las Interfaces de Usuario Tangibles - (TUI), como una propuesta emergente que busca convertir el espacio físico en un entorno intuitivo para el usuario.

Siendo este campo de investigación tan novedoso, el estado del arte alrededor del mismo, apenas está en construcción y difícilmente se puede acceder a material que condense definiciones, caracterización, tecnologías y herramientas a usar, entre otros aspectos teóricos y técnicos. Aunque en la literatura se encuentran ciertas aplicaciones y prototipos generados en diversos contextos de uso como la enseñanza, música y comunicación, estos

trabajos, aparecen de manera aislada, evidenciando la necesidad de analizar dichos resultados para establecer las potencialidades de una TUI.

De acuerdo con lo antes indicado, la pregunta que orienta este trabajo de grado en la modalidad investigación es: *¿Cuáles son los aspectos teóricos y tecnológicos que involucran el desarrollo de una TUI?*

1.2 Justificación

Hoy en día se busca que la interacción del ser humano con la máquina sea más natural, existen diferentes laboratorios, universidades, empresas, entre otros, que adelantan investigaciones y realizan continuamente prototipos en busca de estrechar la brecha entre el mundo físico y el digital, de esta manera, surgen las interfaces de usuario tangibles como una propuesta novedosa, buscando que las interfaces resulten naturales e intuitivas al usuario aprovechando los modelos mentales de interacción que éste desarrolla al interactuar con los objetos físicos de su entorno.

En consecuencia, este trabajo nace del interés del grupo de investigación CAMALEÓN de la Escuela de Ingeniería de Sistemas y Computación (EISC) de la Universidad del Valle, para crear una línea de investigación en entorno a lo que son las interfaces de usuario tangibles dado que es una tecnología emergente de interés y crecimiento dentro del marco de la Interacción Humano Computador. Los resultados de este trabajo servirán de base para que otros estudiantes desarrollen aplicaciones utilizando TUI, así como de crear una guía que condense la información que se debe conocer si se desea incursionar en este campo.

1.3 Alcance

Este trabajo corresponde a un proceso de exploración, descripción, análisis y comprensión de algunos aspectos teóricos y prácticos relacionados con el desarrollo de una interfaz de usuario tangible, teniendo como resultado final un estudio y una exploración del estado del arte de este tópico así como la implementación de al menos dos prototipos funcionales de TUI.

Sobre los prototipos implementados se aplicarán al menos una prueba de usabilidad y no se tendrá en cuenta personas en situación de discapacidad. Es importante aclarar que parte de este trabajo de grado es identificar los contextos de aplicación más apropiados por lo cual en el objetivo específico dos no se tiene un contexto definido.

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo General

Desarrollar un conjunto de prototipos de interfaces de usuario tangible mediante la exploración de sus aspectos teóricos, prácticos y de aplicación para el afianzamiento de esta línea de investigación en la EISC.

1.4.2 Objetivos Específicos

- Identificar los aspectos teóricos, tecnológicos y de aplicación relacionados con las interfaces de usuario tangibles.
- Construir y analizar al menos dos prototipos funcionales de una interfaz de usuario tangible para un contexto en particular.
- Analizar costos y tiempos asociados a la construcción de una interfaz de usuario tangible y la facilidad de uso de los prototipos construidos.

1.5 Resultados Obtenidos

Objetivos Específicos	Producto(s) Obtenidos	Documentado en:
Identificar aspectos teóricos, tecnológicos y de aplicación relacionados con las interfaces de usuario tangibles.	Documento de estado del arte. Artículo titulado: <i>“Aspectos teórico-prácticos para el desarrollo de interfaces de usuario tangibles”</i> , Aprobado como <i>short paper</i> en el Congreso Colombiano de Computación 2017.	Capítulo 2
Construir al menos dos prototipos funcionales de una interfaz de usuario tangible para un contexto en particular.	Cuatro prototipos funcionales a bajo costo, con sus respectivos artefactos de modelado.	Capítulo 3
Medir los costos y tiempos asociados a la construcción de una interfaz de usuario tangible y la facilidad de uso del prototipo construido.	Evaluación heurística de cada uno de los prototipos, con registro en vídeo. Tabla de costos asociados a la construcción de los cuatro prototipos. Tabla de tiempos tanto para el desarrollo de la parte digital como de la parte física de las TUI.	Capítulo 4 Capítulo 5

Tabla 1. Resultados objetivos específicos

Capítulo 2

MARCO REFERENCIAL

En este capítulo se presentan la caracterización de una TUI y un glosario de forma que se puedan aclarar conceptos nombrados a lo largo del trabajo.

2.1 Glosario

Interacción: Es el modo en que se relacionan el humano y el computador, es decir muestra la relación entre lo que quiere el usuario y lo que el sistema es capaz de hacer (Melorose, Perroy, & Careas, 2015).

Interacción humano computador-HCI: HCI es una disciplina relacionada con el diseño, evaluación e implementación de sistemas de computación interactivos para uso humano, y con el estudio de los fenómenos que lo rodean (Hewett et al., 2009).

Touch Board: Es un dispositivo que permite la creación de prototipos electrónicos, su diseño está basado en el Arduino® Leonardo, por lo tanto es compatible con el entorno de programación de Arduino® (Conductive, 2015).

MIDI: Es un protocolo digital de comunicación empleado para establecer la comunicación de diferentes instrumentos musicales electrónicos y ordenadores, por lo tanto los dispositivos relacionados se conectan y comunican entre sí (Swift, n.d.).

Capacitancia: Es conocida como capacidad eléctrica, es decir la propiedad que tienen los cuerpos para mantener una carga eléctrica (BIOPROFE, 2016).

Arduino®: Es una plataforma electrónica de código abierto basada en *Hardware* y *Software* (Pomares Baeza, 2009).

Sistema embebido: Es *“un dispositivo controlado por un procesador, dedicado a realizar una única tarea o una serie de ellas”* (Benchimol, 2011).

Circuito eléctrico: Es *“el conjunto de elementos que unidos de forma adecuada permiten el paso de electrones”* (Carrasco Hernández, García Espinosa, & Núñez Abad, 2012).

Conductor eléctrico: Es *“un cuerpo que transmite la corriente eléctrica con facilidad”* (Carrasco Hernández et al., 2012), los mejores conductores eléctricos son los metales, aunque también a otros elementos que son buenos conductores tales como el grafito y las soluciones salinas.

Corriente eléctrica: Es el conjunto de electrones que se mueven a través de un conductor (Romano, 2013). Se simboliza con la letra I.

Amperio: Es la unidad de medida de la corriente eléctrica (Romano, 2013). Se representa con la letra A.

Resistencia: Es *“la dificultad que opone un determinado material al paso de la circulación de la corriente eléctrica o, lo que es lo mismo, oposición al movimiento de los electrones en el interior de dicho cuerpo”* (Carrasco Hernández et al., 2012). La resistencia se simboliza con la letra R.

Ohmio: Es una unidad de medida de la resistencia, se representa por la letra griega Ω (Carrasco Hernández et al., 2012).

Voltaje: Es *“una cualidad de los elementos generadores de corriente que producen una circulación o movimiento de electrones de un punto a otro”* (Carrasco Hernández et al., 2012), también se conoce como diferencia de potencial, ya que un voltaje diferente entre dos puntos que se encuentran unidos, generan el movimiento de electrones. Se simboliza con la letra V.

Señal digital: Es *“aquella que solo tiene un numero finito de valores posibles (lo que se suele llamar tener valores discretos)”* (Torrente, 2013), un ejemplo de este tipo de señal es un semáforo donde los colores son solo tres (rojo, ámbar y verde) sin oportunidad de un cambio de color progresivo.

Señal análoga: Es *“aquella que tiene infinitos valores posibles dentro de un rango determinado (lo que se suele llamar valores continuos)”* (Torrente, 2013), ejemplos de este tipo señal son: magnitudes físicas (temperatura, sonido, luz, entre otras), magnitudes eléctricas (voltaje, intensidad, potencia, entre otros), etc.

Timers: Son interrupciones programadas que se ejecutan transcurrido un determinado tiempo, el cual ha sido definido con anterioridad.

2.2 Marco teórico

2.2.1 Definición del concepto de TUI

Tal como sucede en otros campos de las ciencias de la computación, la definición de Interfaz de Usuario Tangible (en adelante TUI), está en proceso construcción, por lo cual, en la revisión de la literatura, el concepto varía de acuerdo con cada autor, quienes según su experiencia reconocen unas u otras características.

Como se puede apreciar en Carles F et al (Carles F et al., 2009), afirman que una TUI es capaz de generar un cambio importante en la manera en cómo nos relacionarnos con las computadoras, teniendo como objetivo tomar ventaja de la interacción háptica, es decir, facilitando la manipulación directa de los datos mediante piezas y mecanismos tangibles, esta definición si bien es un tanto global permite establecer como criterio imperante la manifestación explícita del contacto físico por parte del usuario con la Interfaz.

Lo antes concluido se puede ver reflejado en los siguientes trabajos: Arias et al (Arias, Eden, & Fischer, 1997) argumentaron la necesidad de combinar ambientes físicos y digitales, logrando así solucionar las falencias presentadas en ambientes digitales, lo cual conduciría a un nuevo tipo de diseño de usuario que conserve las fortalezas de combinar ambos ambientes, mas no dan un nombre como tal para el tipo de interfaz propuesto; Ullmer &

Ishii (Ullmer & Ishii, 2001) indican el principio orientador de la TUI que es dar forma física a la información digital, sirviendo a su vez de representaciones y siendo directamente manipulables con las manos, es decir, se aumenta el mundo físico (real) mediante el acoplamiento de la información digital a los objetos de uso cotidiano; por su parte Couture et al (Couture, Legardeur, & Riviere, 2008) sugieren que una TUI busca favorecer el carácter intuitivo de una interacción, combinando el mundo físico y el digital, para lograr su simplificación; también B. O. Shaer & Hornecker (B. O. Shaer & Hornecker, 2009) afirman que una TUI permite al usuario “*aprehender datos*” mediante la interacción con objetos generando cambios a nivel digital (datos) y físico; Córtes Rico (Córtes Rico, 2015) define una interacción con una TUI como una amalgama de lo digital con lo físico, entendiendo lo físico como “*objetos cotidianos con un alto valor cultural*”; P. B. Muro Haro et al (P. B. Muro Haro, Santana Mancilla, & Garcia Ruiz, 2012) definen explícitamente una TUI como una interfaz que permite al usuario “*interactuar con información digital a través de ambientes físicos*”; también Yasufumi et al (Yasufumi, Tomohiro, & Hiroshi, 2015) reconocen la TUI como una interfaz intuitiva gracias a la unión de información digital con un objeto de uso cotidiano, facilitando al usuario comprender el funcionamiento del sistema; y finalmente Maher & M I Jeong (Maher & M I Jeong, 2005) definen una TUI, como una interfaz que proporciona una interacción física, convirtiendo objetos en dispositivo de entrada y salida.

Si bien los anteriores autores aparecen citados en artículos recientes, todas estas definiciones junto con otras encontradas, se derivan directamente del trabajo del profesor Hiroshi Ishii (H. Ishii, Wisneski, Orbanes, Chun, & Paradiso, 1999; Hiroshi Ishii, 2006; Hiroshi Ishii & Ullmer, 1997; Piper, Ratti, & Ishii, 2002; Small & Ishii, 1997; Ullmer & Ishii, 1999, 2001; Underkoffler & Hiroshi, 1999) pionero en este campo, quien define a una TUI como una manera novedosa de interacción y llena de posibilidades en el área de HCI, que tiene como objetivo disminuir la brecha entre el mundo digital y físico, gracias al acoplamiento de la información digital en objetos físicos de uso cotidiano.

En conclusión, una TUI, es una interfaz de usuario, en la cual objetos del entorno físico del usuario se conjugan para brindarle información digital y/o permitirle modificarla a través de una interacción explícitamente física entre el usuario y el objeto, o implícita entre objetos, pero generada por la intervención inicial del usuario, sobre uno de estos objetos interactuantes. Un aspecto a resaltar es la naturaleza intuitiva que deben tener los objetos físicos en una TUI, ya que deben permitir que la interacción realizaba sea más natural en comparación con las interfaces de usuario convencionales (PC, *laptops*, celulares, *tablets*, entre otras).

2.2.2 Caracterización de TUI

Este apartado tiene como finalidad determinar los atributos propios de una TUI, de modo que claramente se distinga de otro tipo de interfaces de usuario. En este sentido, se proponen inicialmente dos formas de clasificación (taxonomías), derivadas de la revisión de diversos ejemplos de aplicación encontrados en la literatura y posteriormente una descripción de los elementos estructurales y de comportamiento (relaciones entre los elementos estructurales) que denotan de manera necesaria y suficiente a una TUI.

2.2.2.1 Elementos que intervienen en una TUI

Esta sección establece los elementos que se consideran necesarios para conformar una TUI.

Usuario

El usuario se encarga interactuar con la TUI mediante la manipulación de los objetos físicos, es decir puede ejecutar acciones sobre un objeto en sí (tales como agitarlo, presionarlo, entre otras) o en relación con otro (por ejemplo, ubicar una pieza entre otra).

Objetos

Son los elementos del entorno que serán manipulados por el usuario, estos son referenciados de diferentes maneras según el criterio de cada autor, como *Token and Constraints* por O. Shaer et al (O. Shaer, Leland, & Jacob, 2004), *Prop* por Couture et al (Couture et al., 2008), *Pyfo* por B. O. Shaer et al (B. O. Shaer & Hornecker, 2009) entre otros. En general, se puede distinguir los siguientes tipos de objetos:

- **Token:** Son objetos físicos aprehensibles que pueden ser activos o pasivos, dependiendo del papel que jueguen en la interacción con el sistema. Se consideran activos a aquellos que representan funciones, en otras palabras permiten manipular la información digital presente en el sistema y pasivos a aquellos que representan información digital mediante etiquetas, tales como códigos QR, identificación por radiofrecuencia, entre otros. Las propiedades físicas de un *Token* pueden reflejar la naturaleza de la información que representan (Córtes Rico, 2015; B. O. Shaer & Hornecker, 2009), es decir la forma del objeto está ligada con la información que almacenan, por lo tanto se maneja analogías del mundo real para el diseño de las interfaces tangibles facilitando así, el aprendizaje del usuario sobre el funcionamiento de la misma.
- **Constraint:** Es un objeto físico que limita el comportamiento de un *Token* con el que este asociado, adicionalmente las propiedades físicas asociadas a una *Constraint* guían al usuario para entender cómo manipular los elementos de la interfaz (O. Shaer et al., 2004).

2.2.2.2 Taxonomía

En este apartado se realiza una agrupación ordenada de las TUI teniendo en cuenta su capacidad de inferencia, su forma, las entradas/salidas y las metáforas empleadas.

De acuerdo con la capacidad de inferencia

- **TUI Reactivas:** Cuando los objetos físicos que conforman la TUI reaccionan en respuesta a una interacción con otro objeto físico o en respuesta a una acción provocada por parte del usuario, reflejando un cambio en sí mismos. Este cambio está dado en términos de la información digital que puede mostrar al usuario o también en información que puede ser percibida por los sentidos. Un ejemplo reciente es *Sifteo Cubes* (Pillias, Robert-Bouchard, & Levieux, 2008), el cual consiste en pequeños bloques de movimiento de 1.5 pulgadas que al interactuar entre sí, generan información reflejada en las pantallas que poseen.
- **TUI Inteligentes:** En el momento de darse la interacción, algún objeto físico tiene la capacidad de identificar a los otros objetos físicos que conforman la TUI y puede razonar en torno al tipo de comportamiento que debería tener la TUI acorde con los objetos participantes en dicha interacción. Esto implica que los resultados de

una interacción pueden variar dependiendo de los objetos que participan en la interacción y la forma como lo hacen (Variación de posición, ángulo, contacto, etc.). Un ejemplo es *AudioCubes* (Schiettecatté & Vanderdonckt, 2008) es un instrumento musical electrónico que se compone de cubos luminosos e inteligentes, que detectan la distancia y orientación respecto a otros, generando variaciones en los sonidos que se producen.

De acuerdo con su forma de construcción

- **Superficies interactivas:** Son aquellas TUI donde los objetos que permiten el despliegue de la información digital son planos y aumentados, es decir, auto proyectan la información digital. Estas superficies tienen la capacidad de “*detectar la presencia, movimiento, identidad y las relaciones entre los objetos*” (Córtes Rico, 2015). Es importante resaltar que una superficie interactiva puede trabajar con objetos físicos que no sean auto informativos en sí mismos, pero que al interrelacionarse produzcan cambios en la información digital que debe desplegar la superficie interactiva. Algunos ejemplos son: URP (Underkoffler & Hiroshi, 1999) es un sistema de planificación y diseño urbano, que consiste en la integración de diversas aplicaciones sobre una superficie interactiva, la cual permite proyectar la sombra de maquetas arquitectónicas en diferentes horas del día; *PingPongPlus* (H. Ishii et al., 1999) es una versión del clásico juego de *ping-pong*, el cual incorpora tecnologías de sensores, de sonidos y de proyecciones, cuando la pelota impacta en la mesa, proyecta imágenes de círculos concéntricos sobre ella.
- **Piezas auto informativas:** TUI donde los objetos físicos tienen la capacidad de desplegar información en sí mismos, de acuerdo con la interacción. Generalmente, esta información es parcial de tal forma que la información global se deriva de la sinergia de estas piezas, las cuales se interrelacionan de manera modular. Un ejemplo de este tipo de TUI es *CommCube* (Rebola, 2015), es un dispositivo de comunicación con múltiples caras, en donde cada cara tiene asociada una función específica tales como directorio de contactos, fotos, correos y calendario.
- **Token and Constraints (TAC):** Corresponde a las TUI donde se establece una relación directa entre los objetos físicos de acuerdo con su acople real, es decir, objetos que encajan de una manera específica, y solo cuando el usuario logre su empalme físico se generara la información digital, una acción en otro objeto físico (Córtes Rico, 2015; Ullmer, 2002). Algunos ejemplos son: *Tern* (Horn, Solovey, & J.K Jacob, 2008) es un lenguaje de programación orientado a niños, el cual relaciona el uso de piezas físicas (*Tokens*) con forma de rompecabezas y una mesa táctil (*Constraint*), cuando se acopla el *Token* con la *Constraint* produce un movimiento en un *Robot*, el cual se encuentra asociado al sistema; *Reactable* (Jordà, 2009) es un instrumento musical electro acústico basado en una mesa multitáctil donde la interacción se realiza mediante objetos físicos que representan los componentes de sintetizadores modulares, los cuales varían en relación al movimiento que el usuario genere sobre la superficie en un determinado lugar; *Jive* (Arent, 2009) es un dispositivo para la comunicación digital diseñado para un público con una edad avanzada y tecnofobia, el cual simplifica el uso del *Mouse* por fichas físicas,

que contiene información sobre el usuario mismo o sobre otras personas, esta información se despliega en una pantalla donde se debe situar la ficha en cuestión.

De acuerdo con la entrada y salida (Fishkin, 2004)

- **Full/Lleno:** en este caso el dispositivo es tanto de entrada como de salida: El estado del dispositivo está totalmente incorporado en él, es decir se realiza una acción y se genera un cambio sobre el mismo.
- **Nearby/Próximo:** *nearby* se da cuando la salida tiene lugar cerca del objeto de entrada, por ejemplo *bricks* (H. Ishii, Fitzmaurice, & Buston, n.d.), es una TUI que permite al usuario mover cubos sobre una mesa táctil, controlando la pantalla (Salida).
- **Environmental/ambiental:** *environmental* se da cuando la salida está alrededor del usuario, típicamente en audio se le denomina "*no-aprehensible*" (Ullmer & Ishii, 2001), es decir hay un vínculo tenue entre el objeto de entrada y la salida, pero la salida es percibida por los sentidos, por ejemplo en HCI es equivalente a una aplicación de edición de sonido; *beads* (Resnick et al., 1998) es una TUI que consiste en bolitas que al unirse emiten una luz o pueden llegar a generar patrones de luz.
- **Distant/Distante:** *distant* se da cuando la salida generada se puede dar en otra pantalla, o incluso en otra habitación, por ejemplo en HCI es equivalente a un control remoto de TV, en el que la atención visual se conmuta entre la entrada (el control) y la salida (la pantalla del televisor).

De acuerdo a la metáfora empleada por (Fishkin, 2004)

Fishkin divide las metáforas en dos tipos, el primero denominado metáforas del sustantivo (Se relaciona con la forma del objeto) y el segundo metáforas del verbo (Se relaciona con el movimiento del objeto), esta agrupación se basa en estudios de psicología cognitiva (S. Goldin-Meadow, 1979; S. J. Goldin-Meadow, 1978), para ello genera cuatro niveles que se explicaran a continuación:

NIVEL	NOMBRE	DESCRIPCIÓN
1	Ninguno	No hay una metáfora asociada, un ejemplo de TUI de este nivel es el <i>beads</i> (Resnick et al., 1998) es una nueva generación de juguetes digitalmente manipulables, los cuales consisten en bolitas que pueden unir entre sí, haciendo que los leds emitan una luz, esta puede variar según el orden de ellos, creando nuevos patrones, en el caso de esta TUI el usuario emplea manipulaciones físicas para controlar el sistema, donde las manipulaciones realizadas no están asociadas a ninguna analogía del mundo real, es decir no se puede deducir que al unir o una bolitas se puede llegar a generar un patrón, ya que no se puede asociar esto, con alguna actividad cotidiana.
2	Sustantivo o Verbo	<p>Sustantivo: la analogía está ligada con la forma física/apariencia/sonido del objeto en el sistema, en otras palabras este nivel es alcanzado cuando el aspecto del objeto está estrechamente vinculado a la apariencia de algún objeto del mundo real, pero la semejanza termina ahí. Por ejemplo <i>Navigational Blocks</i> (Camarata, Yi - Luen Do, Gross, & Johnson, 2002) emplea objetos físicos con forma de cubos donde las funciones de cada una de la caras no guardan ninguna relación con la apariencia del objeto.</p> <p>Verbo: la analogía está asociada a la acción que se realiza independientemente del objeto, en otras palabras la forma física del objeto carece de importancia, la analogía es en la acción empleada. Por ejemplo <i>The Shakepad</i> (Levin & Yarin, 1999) es un objeto pequeño donde su forma física no está ligada a un objeto de uso cotidiano o conocido, pero su acción sí, es decir se "mueve o se sacude" con el fin de generar un cambio, un gesto que es entendido tanto para la persona como para la ordenador.</p>
3	Sustantivo y Verbo	<p>El sustantivo y el verbo están relacionados, "<i>X (acción) en A (sustantivo) en nuestro sistema es como un X (acción) en A (sustantivo) en el mundo real</i>" (Fishkin, 2004), por ejemplo en HCI arrastrar y soltar, en donde se suelta elemento represent</p> <p>ado digitalmente como un icono en una papelera virtual, es como dejar caer un archivo físico en una papelera de basura física, varias TUI operan de esta manera pero el nivel de semejanza es mayor, dado que se emplean objetos físicos, en este caso se menciona una TUI muy conocida, que es la URP (Ben-Joseph, Ishii, Underkoffler, Piper, & Yeung, 1999), donde los objetos que se manipulan son bloques tridimensionales que representan edificios, si se mueven, la mesa debajo de ellos simula la sombra que generarían si estuvieran en una escala mayor en el mundo real.</p>
4	Lleno	En este nivel no es necesario una metáfora, dado que el sistema virtual es el mismo sistema físico, manipulan un objeto y el mundo cambia de la manera deseada, a esto se le denomina manipulación directa real (Fishkin, Gujar, Harrison, Moran, & Want, 2000), por ejemplo una TUI para este nivel es <i>illuminating clay</i> (Piper et al., 2002) en la cual el usuario puede manipular una superficie que es un arcilla que está sobre una mesa, si se mueve o se distorsiona la acción se ve reflejada de manera inmediata, en pocas palabras, el usuario no necesita ninguna analogía para manipular la arcilla (Fishkin, 2004).

Tabla 2. Taxonomía de acuerdo a la metáfora empleada por (Fishkin, 2004).

Teniendo en cuenta las taxonomías mencionadas anteriormente se obtiene la Ilustración 1.

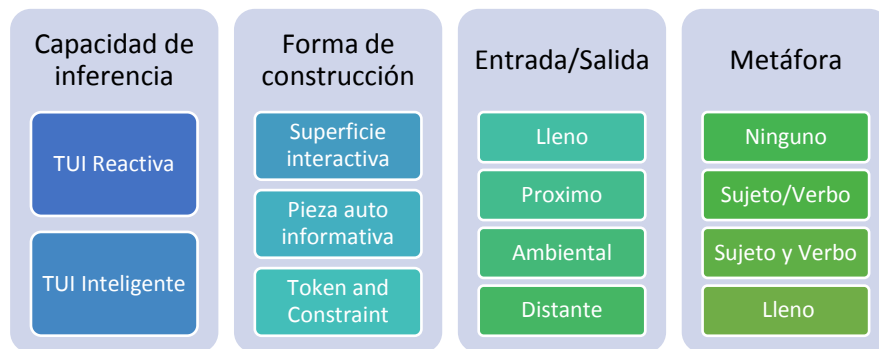


Ilustración 1. Taxonomías para clasificar una TUI (Imagen propia).

2.2.2.3 Comportamiento

Este apartado tiene como finalidad clasificar el comportamiento de una TUI teniendo en cuenta las posibles relaciones entre los elementos que la componen.

2.2.2.3.1 Relaciones entre los elementos estructurales

- **Interacción (usuario-objeto(s)):** La interacción usuario-objeto se establece, cuando el usuario realiza una acción (tal como levantar, desplazar, sacudir, presionar, etc.) con un objeto en un momento dado, desencadenando una respuesta que puede darse en el objeto mismo, en una pantalla (reproduciendo un vídeo, imagen, documento, etc.) o cerca del objeto pero se percibe por los sentidos del usuario (generalmente llamados “*no apprehensibles*” (Ullmer & Ishii, 2001), como sonido y aroma.) (Fishkin, 2004).
- **Interrelación (objeto-objeto):** La interrelación objeto-objeto se establece, cuando un objeto entre en relación con otro, desencadenan una respuesta en conjunto; que puede darse en: uno o en ambos objetos, en una pantalla, cerca del objeto mismo.

2.2.3 Proceso de desarrollo de TUI

2.2.3.1 Tecnologías para la identificación de los objetos tangibles

En el proceso de exploración sobre una forma de identificar los objetos físicos para el desarrollo de una TUI, se ha optado por incursionar en tecnologías pasivas como lo son marcas fiduciales y etiquetas NFC o RFID, las cuales no necesitan alimentación eléctrica externa, por lo tanto al eliminar la necesidad de energía eléctrica, se reduce el costo, ya que no sería necesario realizar mantenimientos para extender el periodo de vida de los objetos físicos, por consiguiente, la creación de nuevos objetos tangibles es más sencilla en comparación con otro tipo tecnologías tales como las activas.

De esta forma se tienen dos tipos de identificadores (marcas fiduciales y etiquetas NFC o RFID) para los objetos físicos: las marcas fiduciales son imágenes que al ser identificadas por sistemas de detección visual proporcionan información como identidad, posición y orientación; las etiquetas NFC o RFID son tecnologías para la comunicación inalámbrica que cuentan con antenas pasivas que al ser alteradas por la inducción de un campo magnético permiten enviar un dato (identificador) (Artola, Sanz, Gorga, & Pesado, 2014).

Tanto las etiqueta RFID como NFC realizan el proceso de identificación por radiofrecuencia, pero ambas tiene un rango de comunicación diferente, por un lado RFID está compuesta por un *chip* conectado a una antena, donde el rango de lectura varía desde los 10 milímetros hasta cerca de 6 metros, dependiendo del tamaño de la antena, de la potencia y de la frecuencia en que opere el lector, al manejar distancias grandes para la transmisión de los datos da lugar para que un tercer dispositivo se conecte dentro del rango de transmisión generando corrupción y modificación de los datos, además de presentar una falta grave a la privacidad de los mismo. Por su parte, NFC maneja un rango de comunicación de apenas 30 centímetros teóricamente, por ello es necesario que los dispositivos estén cerca para poder comunicarse, de acuerdo con lo anterior se puede afirmar que NFC es seguro dado que el rango para el intercambio de datos es reducido, lo que hace difícil que un tercer dispositivo interfiera con la comunicación, adicionalmente las transmisiones pueden usar encriptaciones de seguridad. NFC maneja dos tipos de funcionamiento activo (ambos dispositivos generan una señal RF para transmitir datos) y pasivo (un dispositivo genera la señal RF y el otro dispositivo actúa como receptor y se aprovecha de la modulación de la carga para transferir los datos).

Con el fin de emplear un buen identificador para los objetos tangibles se debe tener en cuenta de que tanto las etiquetas NFC o RFID y las marcas fiduciales cuentan con una serie de ventajas; en el caso NFC o RFID son invisibles (es decir no es necesario que se vean para ser identificadas), programables (el contenido puede variar después de programarla) y el proceso de lectura de etiquetas es más rápido (Domingo Olivera, 2011); en el caso de los marcadores fiduciales presentan una ventaja significativa y económica para el usuario final, esto se debe a que al momento de crear nuevas marcas no es necesario un *Hardware* en particular solo es necesario tener a disposición una impresora y papel. En el caso de las etiquetas NFC o RFID si se desea crear un nuevo identificador para un objeto es necesario adquirir una nueva etiqueta, lo que presenta un costo para el usuario, adicional a ello la configuración de las etiquetas requiere de un *Hardware* para programarlas.

Criterio	Marcas fiduciales	NFC/RFID
Estético	Visible(-)	Invisible(+)
Tiempo de Lectura	Alto(-)	Bajo(+)
Lectura/Escritura	Leer(-)	Leer/Escribir(+)
Prototipo	Alto(+)	Bajo(-)
Costo	Muy bajo(+)	Bajo(-)

Tabla 3. (Domingo Olivera, 2011). Distinciones entre marcas fiduciales y NFC/RFID, la primera columna son los criterios de comparación y las dos últimas columnas las ventajas (+) y desventajas (-) de forma comparativa.

Como se aprecia en la Tabla 3, hay una serie de distinciones entre los tipos de etiquetas antes mencionadas y la decisión de utilizar una u otra dependerá del tipo de TUI que se quiera construir, como se muestra en:

- Domingo Olivera (Domingo Olivera, 2011) propone *PolyTag*, el cual es un objeto físico con forma de un decaedro, cuyas caras están divididas en dos partes: 6 ilustraciones de emoticones de caras que expresan diferentes sentimientos y 6 caras

correspondientes a marcas fiduciales asociadas a las diferentes expresiones de las ilustraciones; para el reconocimiento de las diferentes caras se empleó una superficie transparente con una cámara que apunta a la superficie desde abajo, de este modo cuando *polytag* se encuentre encima, la cámara pueda reconocer el fiducial situado en la parte inferior y los diferentes estados de ánimo se publican en *twitter*.

- Wiethoff y Broll (Wiethoff & Broll, 2011) proponen *Solofind*, una TUI que permite obtener información en detalle de dispositivos electrónicos mediante el uso de un objeto físico que maneja una etiqueta NFC, el cual facilita al usuario la manipulación de los elementos que se visualizan en la mesa táctil, permitiendo así la recolección de información sobre el o los productos que deseen conocer con una simple interacción.
- Constanza et al (Constanza, Shelley, & Robinson, 2003) proponen un enfoque genérico para la implementación de TUI con marcas fiduciales, donde los objetos físicos con estas etiquetas, pueden ser identificados mediante un algoritmo de procesamiento de vídeo, siendo reconocidas en tiempo real.
- Jorda (Jordà, 2009) propone *reactable*, la cual es una superficie que permite generar sonidos mediante la interrelación de objetos físicos que emplean identificación con etiquetas fiduciales.

Durante el proceso de lectura se indagó sobre prototipos de TUI que implementaran tanto etiquetas fiduciales como NFC/RFID, encontrando que las marcas fiduciales predominaban en la mayoría de los prototipos, lo cual se concluye debido a la facilidad al momento de crear nuevos objetos físicos que entrarían en relación con el sistema. En el caso del prototipo implementando en este trabajo, no es necesario modificar con frecuencia las etiquetas de los objetos físicos razón por la cual se optó por etiquetas fiduciales.

2.2.3.2 Frameworks

Este apartado tiene como finalidad proporcionar dos enfoques importantes para el desarrollo de una TUI, en este sentido, se propone un *framework* conceptual, donde se mencionan algunos autores que, de acuerdo con sus conocimientos en el campo, proponen taxonomías para identificar los diferentes elementos que componen una TUI, facilitando así su creación; en el segundo enfoque se mencionan herramientas que permiten el desarrollo de sistemas basados en TUI.

2.2.3.2.1 Conceptual

Se presentan como referencia algunos autores a continuación:

Autor	Descripción	Análisis
Fishkin (Fishkin, 2004)	Propone la definición de una TUI, a partir de la taxonomía de entrada/salida del objeto y su analogía con el mundo real explicada en el apartado 2.2.2.	Esta taxonomía permite generar conciencia sobre la importancia de una buena representación física de la información digital empleando analogías del mundo real, facilitando así a los usuarios la asociación de los objetos de la TUI con los objetos de uso cotidiano, de esta manera se agiliza el proceso de comprensión sobre el funcionamiento del sistema.
Holmquist et al (Holmquist, Redström, & Ljungstrand, 1999) Autor	Proponen tres tipos de objetos físicos que pueden ser vinculados con información digital, las cuales son: <i>containers</i> son objetos genéricos usados para mover información entre diferentes dispositivos o plataformas; <i>tokens</i> son empleados para acceder a información almacenada, adicionalmente reflejan físicamente aspectos sobre la información que contienen y <i>tools</i> que son empleados para manipular información digital.	Esta propuesta plantea buenas definiciones en cuanto a los elementos que componen una TUI orientada al acceso de la información manejando dos tipos de interacción HCI, <i>access</i> (restringe el acceso de la información) y <i>association</i> (son las relaciones de los <i>token</i> con la información), la forma en que desarrollan la investigación es interesante al dar una caracterización sistemas basados en <i>tokens</i> para acceder a un sistema en línea mediante la lectura de códigos de barras, los cuales restringe el acceso a los usuarios así como la información disponible. Por ejemplo <i>WebStickers</i> (Ljungstrand, Redström, & Holmquist, 2000) permite a los usuarios pegar notas adhesivas con códigos de barras pre-impresas a cualquier objeto, lo cuales tienen asociados una o más páginas <i>web</i> .
O. Shaer y Jacob (O. Shaer & Jacob, 2009)	Presentan un paradigma denominado TAC (<i>Token and Constraints</i>) el cual establece un <i>framework</i> conceptual unificado para representar interfaces tangibles, tiene una estrecha relación con el lenguaje TUIML, se explicara de forma más detallada a continuación.	Establece una taxonomía clara para clasificar los elementos relevantes que componen una TUI, permitiendo generar una representación visual de las acciones posibles y la respuesta que invocarían en el sistema en un determinado momento, aunque resulta incompleto dado que no se modela la parte digital. Adicionalmente el comportamiento de una interfaz tangible se maneja en términos de estados y tareas de interacción, generadas por uno o varios usuarios sobre una TUI.
(Córtes Rico, 2015)	El modelado propuesto por Laura Cortes Rico de la Universidad Javeriana de Bogotá.	La propuesta está orientada a un lenguaje de modelado con el propósito de representar estructuralmente interfaces de usuario tangible, para lo cual se define una semántica y una notación visual. El desarrollo de la propuesta se realiza en varias fases, en la primera define requerimientos establecidos para el lenguaje, basándose en un análisis realizado del estado de arte y revisando a detalle las TUI existentes, luego define la semántica en términos de constructos y relaciones basados en el paradigma TAC, especificada en un lenguaje natural y representado en un diagrama de clases UML, usando GME (<i>Generic Modeling Environment</i>).

Tabla 4. Análisis comparativo de los Frameworks conceptuales.

A continuación se presenta un análisis al *framework* conceptual de Shaer & Jacob, dado que este trabajo de grado toma como base su propuesta pero generando variaciones en las taxonomías y en la representación visual que ellos proponen.

Shaer & Jacob, proponen un paradigma para ayudar en el diseño e implementación de una TUI, en vez de utilizar una herramienta en particular deciden especificar la estructura y el comportamiento de una TUI, separando la parte gráfica de los detalles de implementación, para apoyar lo anterior manejaron TUIML que es un lenguaje de modelado visual para TUI, el cual proporciona los medios para analizar, especificar y refinar la interacción tangible, en el artículo se encontró confusiones en la interpretación de algunos diagramas, por lo cual se optó por complementar estas falencias con lecturas adicionales, con el fin de brindar una buena caracterización de una TUI adicional el modelado digital no se veía presente a lo largo del documento.

Para explicar el TUIML y la notación empleada, utilizaron el contestador automático de canicas (Ver Ilustración 2), uno de los primeros ejemplos de interconexión entre el mundo digital y físico, fue diseñado por Durell Bishop, mientras estudiaba en el *Royal College of Art*, como una manera de explorar las formas en que la computación se puede dejar fuera de los escritorios convencionales e integrarla en los objetos cotidianos (O. Shaer et al., 2004).

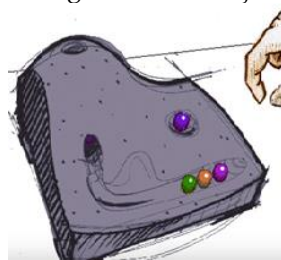


Ilustración 2. (O. Zi. Shaer, 2008). Diseño del contestador automático de canicas de (Crampton-Smith 1995).

El contestador automático de canicas consiste en un dispositivo que almacena mensajes de voz en diferentes canicas, si se desea reproducir un mensaje, solo basta con que el usuario coloque la canica que desea escuchar en la hendidura (como se puede apreciar con la canica morada), los mensajes escuchados se almacenan en un platón y los mensajes desechados se colocan en el orificio que se encuentra en la parte superior del contestador.

Para describir una TUI usando TUIML en primera instancia se debe empezar por identificar los elementos que componen la TUI tales como los *Tokens* (representan información digital), las *Constraints* (limitan el comportamiento del *Token*) y las relaciones entre ellos (TAC), ahora bien, los usuarios pueden interactuar con los objetos físicos o *Tokens* para acceder o manipular la información digital que estos representen, por ejemplo en el caso del contestador automático el *Token* sería la canica, la cual pueden manipular, ya sea para reproducir o eliminar el mensaje asociado a ella, en TUIML representan los *Tokens* empleando una notación gráfica que transmite su forma, pero otros rasgos tales como textura y el tamaño se pueden manejar si se desea con una notación textual secundaria; la *Constraint* limita el rango de interacción física del *Token*, siguiendo con el ejemplo del contestador las *Constraints* serían: la cola de mensajes (ranura), la hendidura donde se reproduce el mensaje, la hendidura donde se devuelve la llamada y el platillo de almacenamiento de los mensajes ya escuchados, en TUIML las representan mediante una

notación que permite transmitir la forma, orientación y tamaño relativo de estas; como se pudo apreciar en el caso del contestador se establece un vínculo *Token* y *Constraint*, este tipo de relación permite: al usuario comprender el tipo de interacción que maneja la interfaz; posibilita la descripción de la estructura de una TUI así como también todas las posibles relaciones, proporcionando un buen enfoque a la hora de analizar cuestiones de forma, sintaxis y contexto de uso, que son cruciales al momento de diseñar una TUI; es importante tener presente que un objeto físico puede hacer el papel de un *Token*, una *Constraint* o ambas.

La Tabla 5 se muestra el artefacto definido para la descripción de los *tokens*, las *constraints* y TAC del contestador automático, usando TUIML:





TAC	Representation			Association	Manipulation	
	Variable	Token	Constraint	TAC Graphics	Action	Response
1	Message	Marble	MessageQueue		Add Remove	
2	Message	Marble	Replayindentation		Add Remove	Play Message Stop Playing
3	Message	Marble	Calibackindentation		Add Remove	Dial Back Disconnect Call
3	Message	Marble	StorageSaucer		Add Remove	

Tabla 5. (O. Shaer & Jacob, 2009). Contestador automático de canicas (Crampton & Smith 1995), Cuadro con las especificaciones de los elementos que componen físicamente la TUI, Paleta de TAC.

En la Tabla 5 también se pueden apreciar los elementos agrupados en tres categorías, el primero se denomina representación este muestra la unión de un *token* a una variable de aplicación y una *constraint*, el segundo grupo es la asociación se refiere a la unión de un *token* físicamente con una *constraint* y por último se tiene la manipulación, en pocas palabras son todas las posibles acciones que un usuario puede realizar sobre un *token* teniendo en cuenta la *constraint* que este tiene asociada.

Dado que los lenguajes de especificación de interfaz de usuario convencionales no manejan explícitamente estos comportamientos, que son comunes en la TUI, la TUIML proporciona los medios para describir dichos comportamientos, dando una visión cercana de la forma en que los usuarios ven dichas interacciones; en consecuencia proponen dos niveles: *nivel de dialogo*, que facilita una visión general de la estructura, el cual consiste en un conjunto de estados de alto nivel que representan un contexto en el que se puede generar un conjunto de interacciones (continuas/paralelas) y en transiciones, es decir conduce a un cambio de estado, producen salidas tanto digitales como físicas; el segundo es el *nivel de interacción*, el cual proporciona una visión detallada de cada posible acción realizada por un usuario.

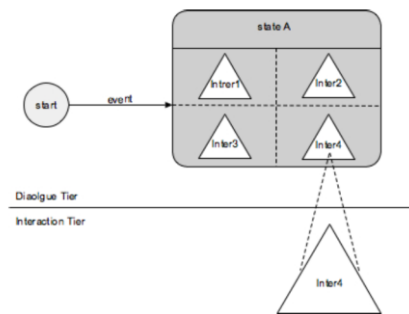


Ilustración 3. (O. Shaer & Jacob, 2009). Modelo de dos niveles (Dialogo-Interacción) para describir el comportamiento de una TUI.

En la Ilustración 3, se observa el nivel del dialogo de manera global, el cual se compone de un conjunto de estados que varían según el tipo de TUI empleada, además cada estado contiene a su vez, un conjunto de tareas que se pueden realizar cuando se está en dicho estado; si se mira más al detalle se puede observar el nivel de interacción que son *inter 1*, *inter 2*, hasta *inter n*, los cuales tienen una forma triangular donde se puede encontrar las interacciones de la TUI, cabe resaltar que en TUIML un estado se representa con un rectángulo redondeado, al igual que los diagramas de estado, el diagrama de dialogo cuenta con un estado inicial (cuando la TUI se activa por primera vez) y un estado final (no hay cambios de estado), con el propósito de brindar una mayor claridad sobre el modelo planteado, utilizaron como ejemplo el contestador automático de canicas, como se muestra a continuación:

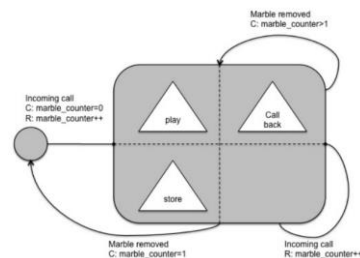


Ilustración 4. (O. Shaer & Jacob, 2009). Contestador automático de canicas por (Crampton & Smith, 1995).

Como se observa en la Ilustración 4, las interacciones que se manejan en el contestador automático de canicas son: *play* (reproducir el mensaje), *call back* (devolver la llamada) y *store* (guardar la canica con el mensaje asociado), en TUIML se representa el nivel de dialogo como una colección de diagramas de interacción cada uno anidado dentro de un estado, permitiendo capturar interacciones en paralelo-continuo, para especificar la interacción en detalle, se maneja una estructura que comprende tres nodos: lugares (representan las condiciones en términos de configuraciones físicas o digitales), acciones (representan eventos discretos) y manipulaciones (representan interacciones).

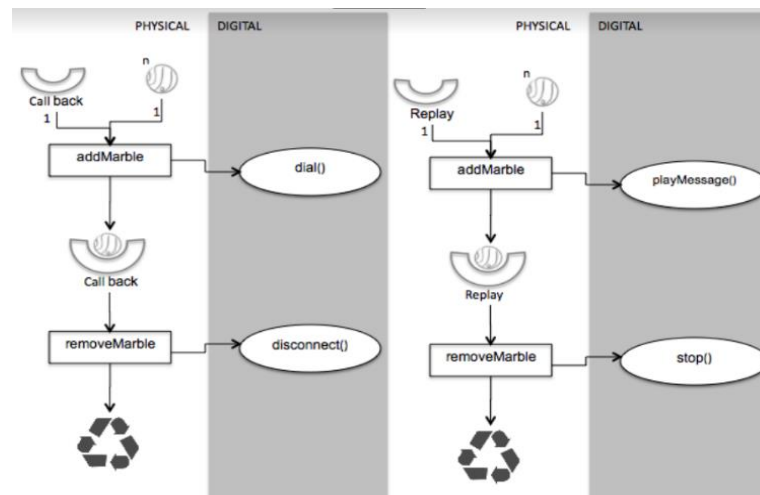


Ilustración 5. (O. Zi. Shaer, 2008). Diagramas de interacción para el contestador automático de canicas, al lado derecho es para devolver las llamadas y al lado izquierdo para reproducir el mensaje guardado en la canica.

Se observa dos interacciones diferentes en la Ilustración 5, los cuales están representados con diagramas de interacción, permitiendo dar una vista del proceso que se lleva a cabo, el primer caso es reproducir un mensaje y el otro es devolver una llamada utilizando una canica, estas interacciones se pueden llevar a cabo en paralelo si se cuenta con dos canicas.

2.2.3.2.2 Software

En este apartado se encuentran algunas de las diferentes herramientas que facilitan el proceso de desarrollo de una TUI, adicionalmente se añaden aplicaciones que estuvieron involucradas en el proceso de implementación de los prototipos que se verán en el capítulo 3.

ReacTIVision: *ReacTIVision* (Kaltenbrunner & Bencina, 2005), es un *software* de código abierto y multiplataforma para reconocimiento de patrones fiduciales y detección táctil, creado por Martin Kaltenbrunner y Ross Bencina en la Universidad Pompeu Fabra como parte de la tecnología de *reacTable*, es una TUI que consiste en un sintetizador modular tangible como se explicó anteriormente.

ReacTIVision realiza un seguimiento de etiquetas fiduciales impresas en objetos físicos que funcionan sobre una superficie sensible al tacto o traslúcida, la imagen capturada pasa por un conjunto de pasos para el procesamiento de imágenes digitales, empezando por un filtro en escala de grises, luego se prosigue con la segmentación que consiste en dividir la imagen en sus partes constituyentes, finalmente se introduce la imagen segmentada en un árbol que alterna las regiones blancas y negras, donde la profundidad del árbol varía según la etiqueta fiducial que se lee, cada marca fiducial tiene un identificador diferente (Kaltenbrunner & Bencina, 2005); algunos autores como (Artola et al., 2014; Causa, n.d.; Hornecker & Psik, 2005) manejan *ReacTIVision* en sus prototipos de TUI.

ARTollkit: Es un *software* de código abierto desarrollado por Hirokazu Kato, el cual permite la creación de aplicaciones de realidad aumentada, gracias a la capacidad de seguimiento de vídeo, permite calcular en tiempo real la posición de la cámara y la

orientación de los marcadores asociados a objetos, varios autores como (Hornecker & Psik, 2005; Park & Woo, n.d.) Implementan TUI basados en sistema de realidad aumentada.

Arduino®: Es una plataforma electrónica de código abierto basado en *hardware* y *software*, fácil de usar, para caso de este trabajo se manejó una placa llamada *Touch Board*, que es compatible con Arduino®, donde se realizó la programación en el IDE de Arduino® en el Capítulo 3 se apreciara en detalle el desarrollo del prototipo.

La estructura básica de la programación de Arduino® (Ver Ilustración 6) está dividida en dos partes: *setup* es la primera función en ejecutarse solo una vez, en ella se declaran las variables del programa, por ejemplo se configura el *pinMode* es decir define si un *pin* es de entrada o salida; *loop* () incluye el código que será ejecutado continuamente (permite leer las entradas de las placas, es decir si el pin se activa, durante cuánto tiempo estará activo, u otras funciones que definirá el programador)(Pomares Baeza, 2009).

```
void setup() {
  pinMode(pin, OUTPUT); // Establece 'pin' como salida
}
void loop() {
  digitalWrite(pin, HIGH); // Activa 'pin'
  delay(1000); // Pausa un segundo
  digitalWrite(pin, LOW); // Desactiva 'pin'
  delay(1000);
}
```

Ilustración 6. (Pomares Baeza, 2009). Estructura básica de la programación de Arduino®.

Neatbeans: Es un entorno de desarrollo de libre distribución, fue elaborado principalmente para el lenguaje de programación Java, adicionalmente permite el uso de una amplia gama de tecnologías de desarrollo tanto de escritorio, como aplicaciones web, entre otros; se utilizó este IDE para enlazar la *touch board* con una aplicación de escritorio que se implementó en este trabajo (ver más detalles en el Capítulo 3).

Touch Board Arduino® plugin: Es un instalador desarrollado por *Bare Conductive* para cualquier sistema operativo, el cual se encarga de copiar los archivos necesarios para establecer la comunicación de la tarjeta electrónica con la plataforma de desarrollo de Arduino®.

2.2.3.3 Herramientas

2.2.3.3.1 Requerimientos

En este apartado se contempla los requerimientos funcionales y no funcionales de una TUI, los cuales varían según el propósito con el que fue desarrollada, durante el proceso de lectura se encontró que más del 90% de los autores no definían un conjunto de requerimientos, sino más bien, manejaban descripciones sobre el concepto de la interfaz y cómo funcionaba el sistema en general; actualmente no se emplea un instrumento formal para establecer cuáles son los requerimientos de una TUI, adicional los requerimientos funcionales son establecidos por el desarrollador, esto se debe en gran medida al tipo de interfaz, dado que es relativamente nueva en comparación con interfaces convencionales.

Un requerimiento no funcional importante y decisivo a tener en cuenta para el desarrollo de una TUI es el uso de metáforas, es decir aprovechar las experiencias del usuario con elementos o acciones del mundo real y acoplarlas con el mundo digital, de esta manera se puede asegurar que la interacción será intuitiva, sin necesidad de un preámbulo por parte de un tercero, garantizando una curva de aprendizaje rápida, dado que los usuarios asociarían los objetos físicos con objetos de uso cotidiano (Cañas & Wærn, 2001).

2.2.3.3.2 Modelado

El modelado de una TUI, es diferente a las interfaces de usuario convencional, por lo cual han surgido inconvenientes a la hora de modelar o visualizar los elementos, por ende se han originado investigaciones que proponen métodos diferentes para manejar el modelado entre los cuales se encuentra confusiones en la interpretación de los mismos, un claro ejemplo es (O. Shaer et al., 2004) donde los diagramas empleados son difíciles de entender, adicional la representación descrita no maneja de forma clara y completa el modelo digital; autores como (Causa, n.d.; Cordella Sandoval, 2011; Couture et al., 2008; Fishkin, 2004; Garcia-sanjuan, Catala, Jaen, & Mocholi, n.d.; Horn et al., 2008; B. P. Muro Haro, Santana Mancilla, & Garcia Ruiz, 2012; Schiettecatté & Vanderdonckt, 2008; O. Shaer & Jacob, 2009) realizan la visualización del esquema de la TUI manejando programas de edición de imágenes, dado que actualmente no se cuenta con herramientas que permitan integrar el modelado de interfaz tangible; en algunos casos deciden simplificar el modelado realizándolo a mano, esto se debe en gran medida al tiempo que requiere para realizar un buen modelado digital.

En cuanto al desarrollo del modelado se propone un conjunto de niveles:

Nivel 1. Breve descripción, da una visión general sobre el propósito de la TUI.

Nivel 2. Identificación y asociación de los elementos estructurales de la TUI, se realiza la caracterización de los elementos físicos que intervienen en la interfaz de usuario teniendo en cuenta la taxonomía propuesta en el capítulo 2.

Nivel 3. Descripción de metáforas, se realiza una breve descripción de las metáforas implementadas.

Nivel 4. Aspecto funcional, se realiza una descripción sobre el funcionamiento de la TUI, teniendo en cuenta aspectos relacionados con el hardware y el software.

Nivel 5. Diagramas de casos de usos, permite representar de manera completa la funcionalidad de la TUI, mostrando su interacción con agentes externos.

Nivel 6. Prototipo de papel, permite generar un boceto inicial de la interfaz, el cual puede ser modificado con el fin de lograr un mejor diseño de la misma.

Nivel 7. Diagrama de dialogo, contiene el conjunto de posibles estados en los cuales pueda estar la TUI, en este nivel se puede apreciar todas las posibles interacciones que puede realizar un usuario (por ejemplo reproducir, parar o eliminar son posibles interacciones) (O. Zi. Shaer, 2008).

Nivel 8. Diagrama de tarea, proporciona una vista detallada de cada interacción posible, entre el usuario y la TUI; este nivel permite describir: los objetos de interacción empleados, así como también su efecto en el mundo físico y digital (O. Zi. Shaer, 2008).

2.2.3.3.3 Pruebas

Durante el proceso de lectura se encontró que varios de los autores como Ayala Cajas, Carles F et al, Cordella Sandoval, García et al, B.P. Muro Haro et al, Rodríguez y Estévez (Ayala Cajas, 2015; Carles F et al., 2009; Cordella Sandoval, 2011; Garcia-sanjuan et al., n.d.; B. P. Muro Haro et al., 2012; Rodríguez Corral & Estévez, 2014) realizan pruebas empíricas del funcionamiento con los usuarios finales, los cuales ofrecen una retroalimentación sobre TUI; la prueba consiste generalmente en colocar al usuario a interactuar con la TUI donde el evaluador puede o no dar una pequeña introducción de la TUI o emplear preguntas sencillas con el fin de medir: ya sea la facilidad de uso, validar la metáfora empleada, medir el grado de satisfacción, entre otros; durante la prueba se realiza un registro en vídeo dado que permite una mejor comprensión a la hora de revisar uno a uno el comportamiento de cada usuario, donde se analiza el comportamiento verbal y no verbal, adicionalmente se enfoca en el rol del objeto físico con el sistema.

Aun no se cuenta con métodos de evaluación específica para las TUI, esto se debe en gran medida a la novedad del campo, las evaluaciones frecuentemente son estudios comparativos, a menudo en forma de estudios de laboratorios empíricos cuantitativos, evaluación heurística y estudios de observación, a menudo basados en vídeo como se explicó anteriormente (B. O. Shaer & Hornecker, 2009).

Los estudios comparativos intentan cuantificar el costo y los beneficios de la interacción tangible, comparándolo con otros estilos de interacción general interfaces de usuario gráfica. Tradicionalmente, los estudios comparativos se centran en mediciones cuantitativas tales como: el tiempo de finalización de la tarea, la tasa de error y el tiempo de memorización. Sin embargo, recientemente varios estudios intentaron cuantificar más cualidades de interacción de alto nivel como la satisfacción, el compromiso y la legibilidad de las acciones. Los datos subjetivos pueden ser recolectados a través de observación y cuestionarios (B. O. Shaer & Hornecker, 2009).

2.2.4 Dominios de aplicación

En este apartado se contempla los campos de aplicación de las TUI, donde se destacan el entretenimiento y el aprendizaje; este último campo cuenta con un numero notable de TUI desarrolladas, esto se debe en gran medida a la naturaleza de la interfaz, dado que permite una interacción más natural respecto a GUI, donde el usuario puede adquirir conocimientos con solo sujetar un objeto de uso cotidiano que esté dotado con cierta capacidad digital que al relacionarlo con otro o una superficie genere una salida, ya sea en audio, imagen, vídeo, olor, entre otros. La curva de aprendizaje de las TUI al emplear analogías del mundo real es menor en comparación con otro tipo de interfaz como se puede apreciar en el trabajo de Maher & Jeong (Maher & M I Jeong, 2005), los cuales realizan pruebas con usuarios finales, donde se evidencia la facilidad de emplear TUI en vez GUI.

Entretenimiento:

Actualmente existen diversos trabajos que mezclan la interacción tangible con los videojuegos, desde hace varios años se adelantan investigaciones para crear una interacción que sea casi natural para el usuario.

Ejemplos en este campo aplicación se encuentran los siguientes trabajos: H. Ishii et al (H. Ishii et al., 1999) proponen un juego de tenis de mesa, el cual posee un sistema de

seguimiento basado en el sonido de la pelota, esto se logra gracias a una serie de micrófonos instalados a lo largo de la mesa, donde la información capturada es enviada a un computador que se encuentra conectado a un proyector. El proyector se ubica encima de la mesa y apunta sobre la misma, así las imágenes proyectadas correspondían al impacto de la pelota sobre mesa, dando un efecto de movimiento; Cordella Sandoval (Cordella Sandoval, 2011) desarrolla un juego llamado *fruit salad* que consiste en una aplicación para dos personas con objetos físicos de la vida real empleando sensores, el propósito del juego es recolectar combinaciones de frutas dentro de tazones que son integrados en un tablero, donde cada tazón posee un lector de código de barras para medir el progreso del juego; Pillias et al (Pillias et al., 2008) presentan un juego colaborativo utilizando *sifteo cubes*, los cuales consisten en bloques físicos programables que permiten al usuario manipularlos sin emplear analogías del mundo real, el juego con el cual se programa los cubos se llama *fat and furious* donde el personaje principal es un hámster gordo y furioso que corre en direcciones aleatoria sin volver nunca atrás, el usuario debe conectar bloques con el fin de que el personaje siga corriendo sin inconvenientes, el juego se termina cuando camino del hámster queda obstaculizado, por ende el objetivo principal del juego es superar la puntuación más alta, haciendo que el hámster corra el mayor tiempo posible; *TraInAb* (De La Guía, Lozano, & Penichet, 2016) es un “juego interactivo y colaborativo diseñado para terapias de estimulación cognitiva en usuarios que tienen discapacidad intelectual”, el cual consiste en integrar objetos de uso cotidiano tales como cartas, juguetes y monedas, donde la interfaz principal del juego se proyecta en una pared con el fin de ampliar el rango de visibilidad y permitir más de un usuario en el juego, cada uno de los objetos físicos emplean identificación por NFC, donde el usuario debe acercarlos a un *smartphone*, el cual se encargara de leer y mandar el identificador a la aplicación principal para generar una respuesta en imagen y audio; *Recovity* (Almeida Lara, 2016) es un juego de rompecabezas donde también emplean realidad aumentada.

Hoy en día incluyen interacciones más naturales en los videojuegos como es el caso FPS (*First Person Shooter*) son aquellos juegos que consta de una pistola con la cual se interactúa, estos tipos de juegos cuentan con un sin número de versiones o diferentes tipos de instrumentos físicos que pueden ser empleados durante el desarrollo del videojuego. En los juegos de carreras, también se puede utilizar elementos físicos con es el volante que está unido a un asiento, el cual en la mayoría de las veces está dotado de movimientos y sonidos, los cuales dan una experiencia más real mientras se juega (Cordella Sandoval, 2011).

Aprendizaje:

Un gran número de los documentos consultados sobre la implementación de una TUI se han orientado en el campo de la enseñanza, dado que provee una forma dinámica de relacionar los elementos cotidianos con el mundo digital, causando gran interés en las personas que la utilizan, esto se logra gracias a la libertad, motivación y también al aprendizaje a través de actividades naturales que se ajustan a los contextos cotidianos. La mayoría de las TUI requieren poco esfuerzo cognitivo para aprender a manejarlas, lo que permite a las personas centrarse en la interfaz tangible sin dar lugar a alguna distracción externa.

Ejemplos en este campo de aplicación encontramos varios prototipos desarrollados, los cuales mencionaremos a continuación:

- B. P. Muro Haro et al (B. P. Muro Haro et al., 2012) proponen una TUI con realidad aumentada como herramienta para facilitar la enseñanza a niños con síndrome de *Down*, para lo cual crearon una *tabletop* que consiste en una mesa, donde se puede proyectar las tarjetas del material didáctico y al mismo tiempo permite la lectura de las etiquetas de realidad aumentada, el material didáctico está basado en los modelos de tarjeta-palabra y tarjeta-imagen, estos son los elementos que se emplearon en la TUI, el estudiante debía asociar la palabra proyectada en la mesa con el objeto tangible delante de él, si realiza la asociación de los elementos de manera correcta el sistema genera un sonido notificando si su elección fue correcta o no, durante el proceso de experimentación fue realizado con un niño con síndrome de Down, donde se evidencio el interés y la emoción del niño frente a la TUI, un resultado importante es que el estudiante mantuvo su atención en las actividades durante la mayor parte del tiempo, sin necesidad de indicaciones o motivaciones adicionales.
- *AlgoBlock* (Hideyuki & Hiroshi, 1993) es un lenguaje de programación tangible tipo *lego*, el cual emplea bloques como medio interacción, cada bloque tiene asociado un comando en particular y los usuarios pueden crear un programa mediante la conexión de los bloques para dirigir la trayectoria de un submarino que está asociado con ellos.
- *Electronic Block* (Wyeth & Wyeth, 2001) son bloques de construcción tipo *lego primo* que han sido diseñados para niños en edad preescolar, los cuales se componen de tres tipos bloques de construcción: *sensor* como entrada, *action* producen alguna clase de salida física y *logic* tiene un rol intermedio entre *sensor* y *action* , es decir son aquellos bloques inteligentes que tiene asignados la lógica computacional, esta TUI está orientada a la enseñanza de un lenguaje de programación simple y fácil de usar para los niños.
- Artola et al (Artola et al., 2014) presentan una TUI enfocada en fortalecer los conceptos básicos de programación para estudiantes en los primeros semestres de ingeniería en sistemas, para lo cual hacen uso de objetos físicos (estos cuentan con módulos diferentes entre sí) que al unirse con *tabletop* despliegan una descripción con una serie de posibles implementaciones, el estudiante deberá escoger que implementación es correcta teniendo en cuenta el modulo que se tenga previsto, como esta TUI es colaborativa pueden estar 3 estudiantes más, que deberán escoger el código que consideren correcto de acuerdo con el modulo que les asigno, luego se les plantea un problema que deberán solucionar de acuerdo con los módulos que cada uno tenga asignado y por último se realiza con un consenso para escoger la solución correcta.
- *Tinkersheets* (Zufferey, Jermann, Lucchi, & Dillenbourg, 2009) consiste en una mesa que es un entorno de aprendizaje para estudiantes de logística, donde permite generar visualizaciones sobre simulaciones de ordenamiento de materiales, para cual utilizan estanterías reducidas que pueden ser colocadas de cualquier manera dentro de la mesa, el estudiante es libre de decir el número de estantes que colocara así como su posición dentro del rango de la mesa.

Una TUI “*proporciona al usuario un ambiente familiar*” (B. P. Muro Haro et al., 2012). Durante el proceso de lectura se encontraron varios documentos que sugieren que este tipo de interfaz es apropiada para el aprendizaje colaborativo (Marshall, 2007).

2.2.5 Limitaciones

Las TUI tienen limitaciones por el diseño de la interfaz tangible: ocupan espacio, no tienen naturaleza adaptable, en algunos casos pueden ser costosas, son difíciles de construir. Es necesario para su desarrollo contar con un grupo multidisciplinario, dado que se requiere un alto nivel de experiencia técnica en un campo diferente para un programador; consume tiempo su construcción; los objetos físicos empleados en una TUI dado su naturaleza no son moldeables en comparación con objetos digitales que son fácil de crear, replicar y distribuir.

2.2.6 Ventajas

TUI presentan algunas ventajas tales como: la interacción se realiza de manera más natural en comparación con interfaces de usuario convencional, esto se debe en gran medida a los objetos físicos, los cuales tratan de imitar formas o movimientos del mundo real, de modo que al usuario le baste su conocimiento del mundo físico para poder deducir el significado de la interfaz y como deben ser usada o manipulada; posibilita que múltiples usuarios interactúen de manera simultánea, de esta forma los usuarios pueden relacionarse no solo con el mundo digital sino también interactuar con otras personas.

2.3 Conclusiones

- La exploración del estado del arte en relación a definiciones y taxonomías de TUI, permitió establecer que los autores manejan diferentes conceptos sobre como caracterizar una TUI, razón por la cual no se tiene una definición específica, aunque si se observa que en la mayoría de los casos utilizan como base los documentos publicados por el profesor Hiroshi Ishii.
- Los *frameworks* conceptuales permiten entender cómo los diferentes autores generan taxonomías para facilitar la comprensión de una TUI, simplificando así el desarrollo de la misma. Adicionalmente permiten visualizar como los autores proponen taxonomías en la mayoría de los casos van de acuerdo al tipo de interfaz que deciden desarrollar, es decir manejando términos muy específicos y no globales.
- Los autores consultados usan como artefactos para la especificación de requerimientos de una TUI los casos de usos o descripciones de requerimientos.
- En los documentos revisados no se encontró métodos o técnicas de evaluación específicas para las TUI, sin embargo se evidencio el uso de pruebas empíricas del funcionamiento con usuarios finales con el fin de medir la facilidad de uso, validar las metáforas y el grado de satisfacción. El medio de registro preferido es los vídeos dado que en general se trabaja con métodos de observación y en algunos casos heurísticos.

Capítulo 3

MODELADO DE LOS PROTOTIPOS DESARROLLADOS

Los códigos fuentes de todos los componentes de los prototipos incluyendo los diseños y esquemas electrónicos están publicados en <https://github.com/KellyJoha> con el propósito de contribuir al conocimiento y quien desee incursionar en el desarrollo de una TUI cuenta con un punto de partida.

3.1 Prototipo TUI: Menú

Durante el proceso de experimentación se realizó un primer intento de un prototipo de TUI, el cual consistía en un menú como se muestra a continuación:

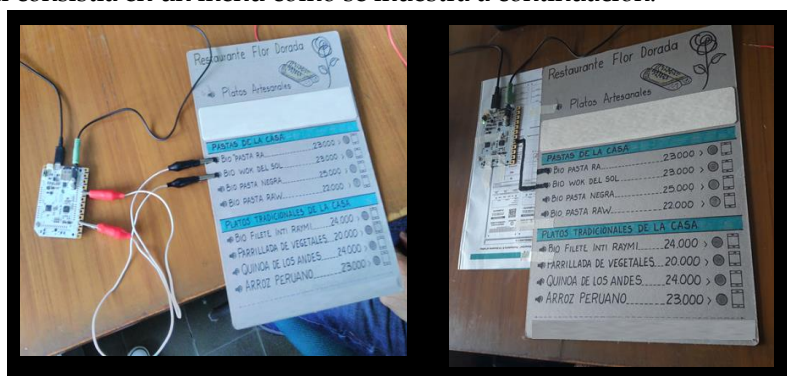


Ilustración 7. Menú, prototipo experimental de una TUI (Imagen propia del prototipo creado).

El consiste en una serie de platos donde el usuario con solo pasar su dedo puede escuchar el detalle del plato, en la Ilustración 7 se aprecia el prototipo con dos tipos de conexiones diferentes, una con pinzas cocodrilo y la otra con la tinta *Electric Paint*, donde se evidencio la falta de conocimientos básicos en electrónica, dado que el uso de pinzas cocodrilo se usan de manera temporal para probar circuitos, en el caso del prototipo no era recomendable utilizar estas pinzas porque los pines del dispositivo electrónico están muy unidos entre sí, si una pinza hiciera contacto con otra generaría un cortocircuito inutilizando la *Touch Board*, esto se constató con un ingeniero electrónico, por tal motivo se optó por utilizar la tinta, la cual facilitaba la conexión sin la necesidad de cables físicos.

En este primer prototipo experimental se obtuvo una mayor perspectiva sobre lo que se pretendía hacer, además se hizo evidente las falencias que se tenían sobre conocimientos

que se inclinan entre lo eléctrico y lo electrónico, por lo cual se participó en un curso rápido de electrónica donde se estudió: la diferencia entre un sistema embebido y un sistema electrónico, ¿Qué es un Arduino®, *software* Arduino® (breve introducción al lenguaje de programación), *hardware* Arduino® (¿Qué es una señal digital?, ley de Ohm, elementos electrónicos), ejercicios *Software* y *Hardware* (*digital read*, interrupciones, *timers* y librerías Arduino®), comunicación serial (creación de patrones de luz led por teclado), ¿Qué es una señal digital? (Banzi, 2012; Goilav & Loi, 2016; Pedrera Caicedo, 2017; Torrente Artero, 2013).

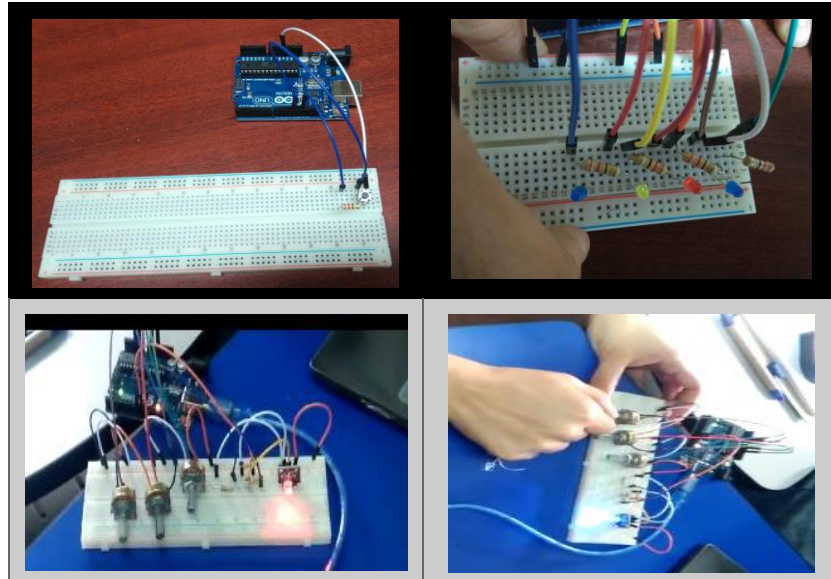


Ilustración 8. Practica de Hardware y Software con un Arduino® uno (Imagen propia).

Gracias al curso tomado, se obtuvo las bases para tener una mayor comprensión al momento de visualizar lo que se deseaba implementar en los prototipos, con lo cual surgió TouchTUI, AnimalesTUI y DodecaDVD, tres prototipos que permiten incursionar en el mundo de las interfaces tangibles teniendo en cuenta la taxonomía propuesta en el Capítulo 2.

3.1.1 Identificación y asociación de los elementos estructurales de la TUI

El prototipo de menú se caracteriza teniendo en cuenta la taxonomía propuesta en el capítulo 2 como: una TUI reactiva por la capacidad de recibir una entrada (El usuario tocando un plato de la carta) y generar un cambio en sí mismo (La salida se da en audio); el menú es un *Token* que se compone de *Constraints*, esto se debe a que cada plato de comida tiene un evento con un sonido en particular para cada pin, es decir cada ítem restringe el comportamiento del otro. Ahora bien el comportamiento que tiene la TUI es una interacción entre un usuario y un objeto, dado que el usuario genera una entrada al tocar un ítem, lo cual genera una acción o más bien, un sonido como respuesta.

3.1.2 Descripción de metáforas

El prototipo Menú es semejante con una carta de menú típica de un restaurante, donde se puede encontrar el encabezado con el nombre del local seguido de la lista de platos con las respectivas descripciones y precios; La única variante es el audio asociado a cada ítem

(Plato) donde se realiza una descripción y se desglosa sus ingredientes con el fin de brindar una mayor información al usuario, para facilitar la identificación del lugar que denotaría la reproducción del audio se empleó un icono común, como lo es un parlante.

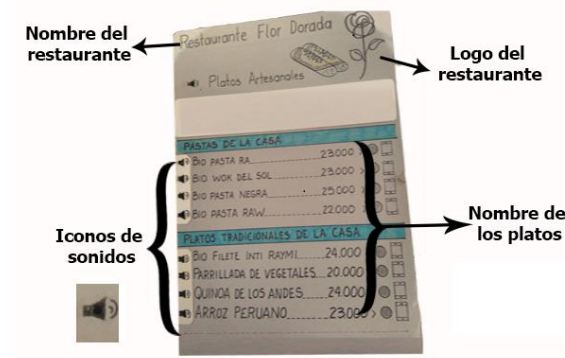


Ilustración 9. Descripción de los elementos visuales del Menú (Imagen propia del prototipo creado).

3.1.3 Aspectos funcionales del prototipo de Menú

El menú como se explicó anteriormente permite realizar un pedido de una manera poco habitual, dado que fue una primera experiencia de TUI donde se permitió conocer en detalle la *Touch Board* y su configuración con el entorno de desarrollo que brinda Arduino®, se identificó la forma como este asocia sonidos a cada pin, en este prototipo fue un proceso más de prueba y error, aunque no se enlazo a una aplicación externa, brindo una buena experiencia dado que no solo se aprendió sobre la *Touch Board* sino que se realizó un curso básico y rápido sobre conceptos de electrónica que no son manejados frecuentemente en la carrera de ingeniería de sistemas.

Una vez se tenían los audios para el menú en extensión MP3 se procedió a cargarlos a la micro SD que maneja la *Touch Board*, donde los nombres de las pistas de audio se modificaron, esto se debe a que la librería SdFat solo admite nombres de archivos de ocho caracteres antes del punto, para el prototipo de menú se manejó Track0 y los dos últimos dígitos corresponden al pin 00 hasta 11, es decir las pistas van así: Track000.MP3, Track002.MP3, Track003.MP3, Track004.MP3, Track005.MP3, Track006.MP3, Track007.MP3, Track008.MP3, Track009.MP3, Track010.MP3 y Track011.MP3; en el código para reproducir el audio se tendrá en cuenta solo los dos últimos dígitos del nombre de la pista que indicara a su vez el pin seleccionado.

```

void readTouchInputs(){
  if(MPR121.touchStatusChanged()){
    MPR121.updateTouchData();
    if(MPR121.getNumTouches() <= 1){
      for (int i=0; i < 12; i++){
        if(MPR121.isNewTouch(i)){
          Serial.print("pin ");
          Serial.print(i);
          Serial.println(" was just touched");
          digitalWrite(LED_BUILTIN, HIGH);

          if(i <= lastPin && i >= firstPin){
            if(MP3player.isPlaying()){
              if(lastPlayed==i && !REPLAY_MODE){
                MP3player.stopTrack();
                Serial.print("stopping track ");
                Serial.println(i-firstPin);
              } else {
                MP3player.stopTrack();
                MP3player.playTrack(i-firstPin);
                Serial.print("playing track ");
                Serial.println(i-firstPin);
                lastPlayed = i;
              }
            } else {
              MP3player.playTrack(i-firstPin);
              Serial.print("playing track ");
              Serial.println(i-firstPin);
              lastPlayed = i;
            }
          }
        }
      }
    } else {
      if(MPR121.isNewRelease(i)){
        Serial.print("pin ");
        Serial.print(i);
        Serial.println(" is no longer being touched");
        digitalWrite(LED_BUILTIN, LOW);
      }
    }
  }
}

```

Ilustración 10. Fragmento de código del prototipo de menú.

En la Ilustración 10 se define solo una acción posible con dos entradas, cuando es tocado un pin o cuando se libera (se deja de tocar), esto permite: reproducir solo una vez una pista y esta solo se detiene si se toca el mismo pin u otro diferente.

3.1.4 Diagrama de caso de uso

En la Ilustración 11 se presenta el caso de uso de “seleccionar un plato”, donde el usuario deberá escoger entre los platos que se le presentan en el menú donde cada ítem tendrá asociado un sonido diferente representado en un icono alusivo a un parlante.



Ilustración 11. Seleccionar un plato (Imagen propia).

3.1.5 Prototipo de papel

El prototipo de papel en una primera instancia se presentó una serie de selectores (Escoger los platos ofrecidos), donde se ilustra que cada ítem tiene asociado un icono de un sonido, es decir el sonido varía dependiendo del plato seleccionado por el usuario.

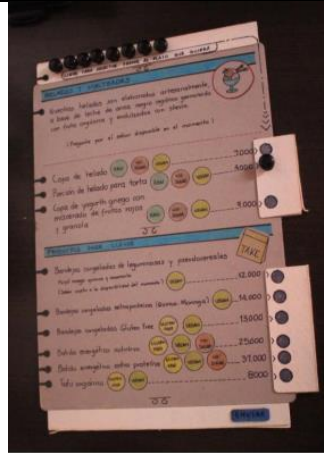


Ilustración 12. Diseño inicial del menú (Imagen propia del prototipo creado).

En la Ilustración 12 se observa el diseño inicial del menú, el cual se modificó por presentar confusiones a la hora de utilizarla (esto se validó en las pruebas realizadas), donde el diseño resultaba saturado para el usuario, adicionalmente se suprimió el uso de selectores y el contenido se ajustó.

3.1.6 Diagrama de dialogo

El prototipo de menú dado su naturaleza permite una sola tarea, es decir solo reproduce el sonido asociado al plato seleccionado, por lo cual no hay otras posibles interacciones contempladas para este caso, donde no se va a evidenciar cambios de estados.

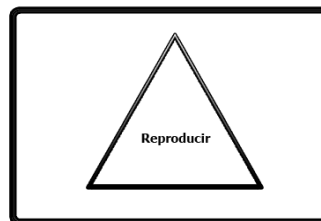


Ilustración 13. Visualización general del estado del Menú (Imagen propia).

3.1.7 Diagrama de Tarea

En la Ilustración 14 se puede apreciar la interacción del usuario con la carta de menú, donde se representa la parte física y digital, es decir por un lado se tiene lo tangible (físico, se da cuando el usuario interactúa con la TUI) y lo intangible (digital, es el código implementado con el fin de generar la respuesta auditiva para el usuario).

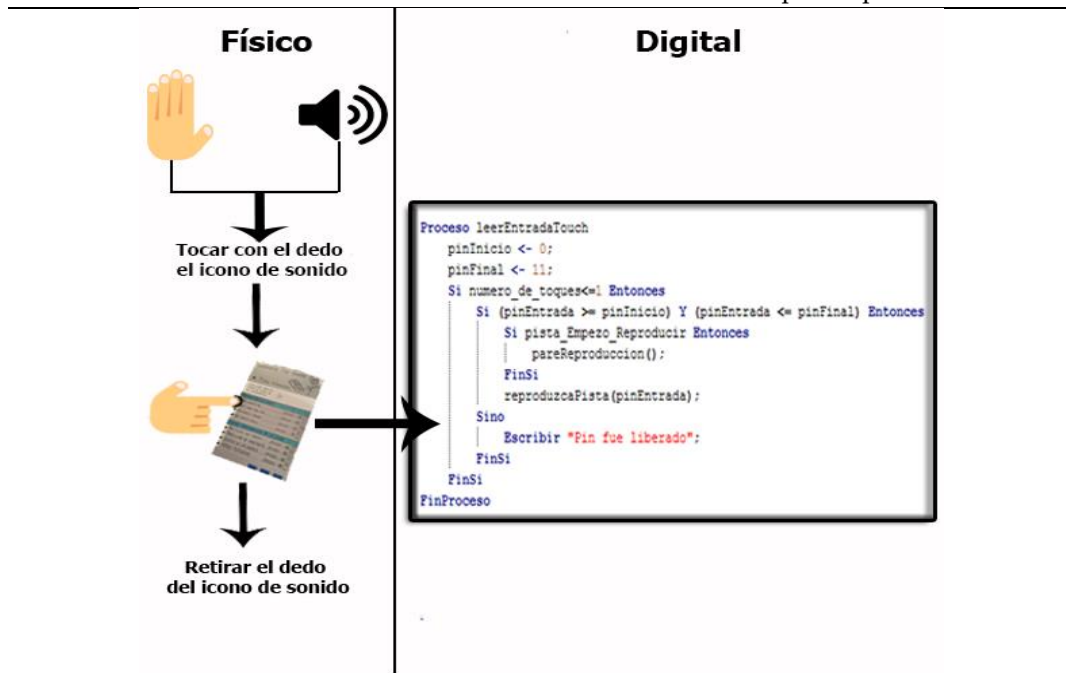


Ilustración 14. Diagrama de tarea creado para el menú, Eventos generados desde el mundo físico desencadenan una serie de instrucciones en el mundo digital (Imagen propia).

3.2 Prototipo TUI: TouchTUI

TouchTUI es una interfaz de usuario tangible que permite ser empleada de dos maneras distintas, la primera es un instrumento musical independiente, donde un objeto físico (TouchTUI) se dota con la capacidad de generar melodías sin tener que conectarse con una computadora; la segunda forma es utilizarla con un instrumento musical pero con la posibilidad de conectarlo a una computadora (independiente del sistema operativo) o una tableta, lo cual permite que se puede ejecutar diferentes *Software* de producción musical (*Ableton live*, *Garageband*, entre otros) con los cuales se puede: componer, editar y grabar música. Para este prototipo fue necesario realizar unas pequeñas soldaduras en dos pines para permitir que el dispositivo funcionara de la manera que se tenía prevista.

3.2.1 Identificación y asociación de los elementos estructurales de la TUI

TouchTUI se caracteriza teniendo en cuenta la taxonomía propuesta en el Capítulo 2 con una pequeña variación dado que el prototipo puede ser empleado de dos formas diferentes y orientadas a públicos distintos, se realiza la primera clasificación teniendo en cuenta TouchTUI como un piano sin conexiones a otros programas, donde el dispositivo se encargara de reproducir el sonido asociado a cada tecla, para este caso es una TUI reactiva donde la TUI es capaz de detectar una entrada e identificar el pin asociado, generando una salida auditiva alusiva a las notas blancas de un piano.

TouchTUI como controlador MIDI, permite enviar señales MIDI a módulos de sonidos externos, generalmente aplicaciones de producción musical, en este caso se brinda una comunicación con un programa externo. En la mayoría de los controladores MIDI no

emiten sonidos por ellos mismos, son usados con el propósito de generar melodías sin las complicaciones de emplear un mouse o teclado convencional, para un usuario experto utilizar un controlador permite que más dispositivos se puedan conectar y generar composiciones musicales más robustas; dado que se obtuvo un valor agregado en esta parte y solo se hizo uso de la interfaz que proporciona como controlador MIDI no se consideró apropiado caracterizarlo.

3.2.2 Descripción de metáforas

TouchTUI guarda relación con la silueta de un piano mas no maneja la misma distribución, dado que los pianos modernos manejan un número mayor de teclas y notas, en el caso TouchTUI solo emplea notas blancas, como se puede apreciar en la Ilustración 15.

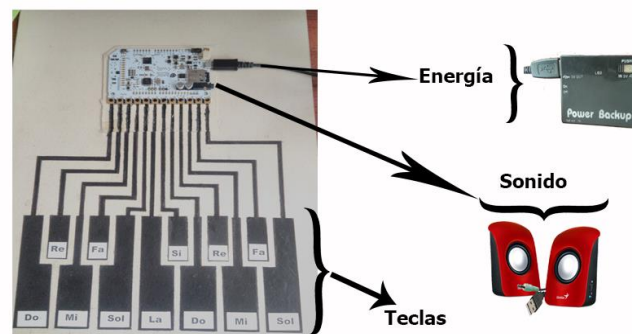


Ilustración 15. Descripción de los elementos visuales del TouchTUI (Imagen propia del prototipo creado).

3.2.3 Aspectos funcionales del TouchTUI

TouchTUI es una TUI orientada a públicos diferentes, gracias a la flexibilidad al momento de programarla, por ende se emplea de dos formas diferentes, como se explicara a continuación:

TouchTUI como un piano, se tiene una aplicación de un instrumento musical con el cual los niños puede interactuar con un piano de 12 teclas (teclas son solo las notas blancas), que no posee demasiados componentes físicos, donde el sonido se integra en la interfaz, por lo tanto la *Touch Board* se programó en *processing* como un instrumento musical sin la necesidad de estar conectada a un ordenador.

```
void loop(){
  if(MPR121.touchStatusChanged()){
    MPR121.updateAll();
    for(int i=firstPin; i<=lastPin; i++){
      note = whiteNotes[lastPin-i];
      if(MPR121.isNewTouch(i)){
        noteOn(0, note, 0x60);
        Serial.print("Note ");
        Serial.print(note);
        Serial.println(" on");
      } else if(MPR121.isNewRelease(i)) {
        noteOff(0, note, 0x60);
        Serial.print("Note ");
        Serial.print(note);
        Serial.println(" off");
      }
    }
  }
}
```

Ilustración 16. Fragmento de código del TouchTUI como piano (Imagen propia).

En la Ilustración 16 se realiza la asignación de las notas musicales que irán en cada uno de los doce pines, adicionalmente activa y desactiva el sonido, guardando relación entre la interacción entre usuario y TUI.

TouchTUI como un controlador MIDI, en este modo la interfaz tangible (TouchTUI) es conectada a un ordenador como un teclado, esta funcionalidad permite que TouchTUI sea utilizada por aplicaciones de producción musical como lo son *Garegareband*, *Ableton live*, *Cubase*, entre otros; para este caso se programó en *processing* la *Touch Board* para que funcionara como un controlador MIDI.

TouchTUI como controlador MIDI, se utilizó para conectarlo al ordenador, empleando un programa de producción musical llamado *Ableton live*, donde el usuario puede manejar diferentes instrumentos musicales, efectos de audio (retardos, filtros, distorsiones, ecualizadores, entre otros), entre otras características que brinda *Ableton live*.

```
void loop() {
  if(MPR121.touchStatusChanged()){
    MPR121.updateTouchData();
    for(int i=0; i<numElectrodes; i++){
      if(MPR121.isNewTouch(i)){
        digitalWrite(LED_BUILTIN, HIGH);
        if(!toggle){
          noteOn(channel, notes[i], 127);
        } else {
          if(noteStatus[i]){
            noteOff(channel, notes[i], 127);
          } else {
            noteOn(channel, notes[i], 127);
          }
          noteStatus[i] = !noteStatus[i];
        }
      } else if(MPR121.isNewRelease(i)){
        digitalWrite(LED_BUILTIN, LOW);
        if(!toggle){
          noteOff(channel, notes[i], 127);
        }
      }
    }
    MIDIUSB.flush();
  }
}
```

Ilustración 17. Fragmento de código del TouchTUI como controlador MIDI (Imagen propia).

En la Ilustración 17 se establece la comunicación con el programa externo donde se hacen un llamado a las funciones *noteOn* y *noteOff*, las cuales son diferentes dado que una representa el momento que se está pulsando y el otro cuando se suelta, la *Touch Board* se encarga de enviar el mensaje *noteOn* a través del puerto, donde se indicara el canal tomado y posteriormente enviara dos byte de datos que especificaran el número de la tecla (indica la nota pulsada) y el valor de velocidad de pulsación (*velocity*), es decir indica que la fuerza que se ha utilizado al pulsar la tecla; al soltar la tecla el controlador emite *noteOff* que también incluye dos byte de datos para el numero de la nota y la velocidad con que se ha soltado la tecla.

3.2.4 Diagrama de caso de uso

El caso de uso de “tocar una tecla”, el usuario debe tocar una tecla y en respuesta se genera un sonido que representara la melodía tocada.

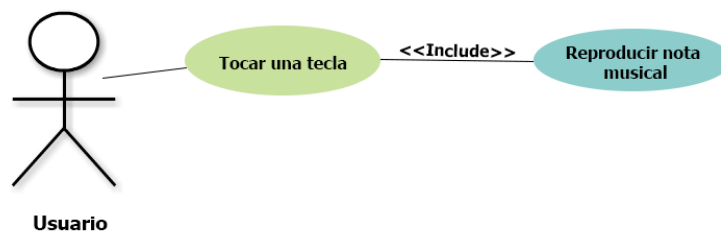


Ilustración 18. Tocar una tecla (Imagen propia).

3.2.5 Prototipo de papel

En una primera instancia se tenía la idea de manejar las teclas de TouchTUI de la misma forma como se puede observar en Ilustración 19, luego de realizar pequeños ajustes el diseño inicial cambio, estas modificaciones se originaron porque al realizar varias simulaciones para tocar una melodía se generó inconvenientes, por lo cual se hicieron más delgadas y otra más cortas con el propósito de corregir las fallas de diseño generadas en un principio, adicionalmente era confuso identificar la melodía asociada a cada tecla, por lo cual se optó por manejar etiquetas en cada una de ellas.



Ilustración 19. Diseño inicial del TouchTUI como piano (Imagen propia).

3.2.6 Diagrama de dialogo

TouchTUI como piano solo emplea una posible interacción (tocar una tecla, la cual tiene una nota musical asociada), dado que su implementación se realizó con el propósito de generar melodías sencillas, sin contemplar más funcionalidades.

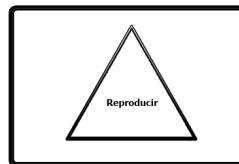


Ilustración 20. Visualización general del estado de TouchTUI (Imagen propia).

3.2.7 Diagrama de Tarea

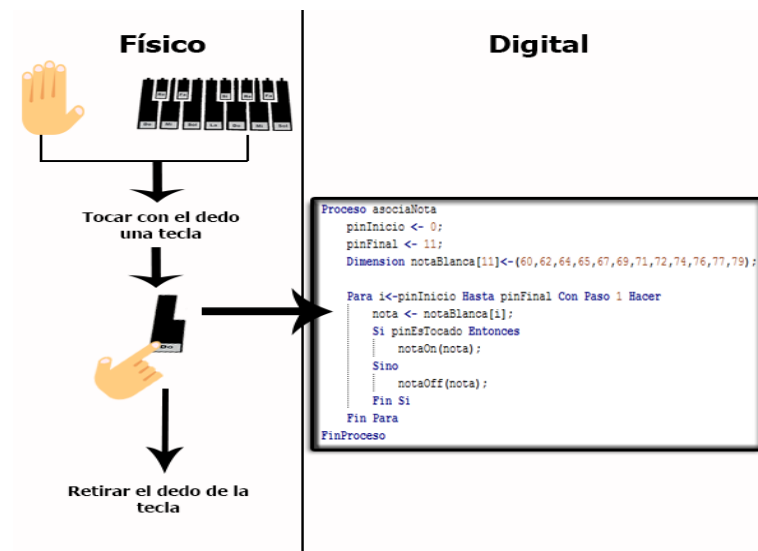


Ilustración 21. Diagrama de tarea creado para el TouchTUI, Eventos generados desde el mundo físico desencadenan una serie de instrucciones en el mundo digital (Imagen propia).

En la Ilustración 21 se aprecia los elementos que intervienen en la interacción desde el punto de vista del usuario así como también el lado de la programación necesaria para que la TUI funcione de la manera deseada, es decir se asigna una nota que se activa y desactiva teniendo en cuenta la interacción realizada por el usuario así como también se encarga de asignar una nota blanca a cada uno.

3.3 Prototipo TUI: AnimalesTUI

AnimalesTUI es una aplicación que permite asociar una superficie con figuras de diferentes animales tales como un: búho, caballo, cerdo, elefante, gallo, gato, león, oveja, pavo, perro, pollito y una vaca, donde el usuario podrá sujetar un objeto alusivo al animal que desee y colocarlo en la superficie en su posición correspondiente, lo cual genera como salida un sonido con el ruido del animal, adicionalmente una visualización en pantalla con la imagen del animal que se tomó con su respectivo nombre asociado.

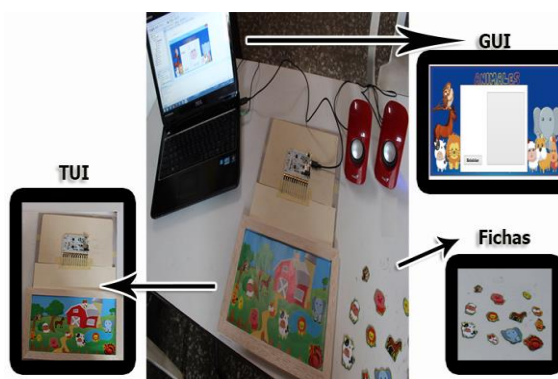


Ilustración 22. AnimalesTUI y sus componentes físicos (Imagen propia del prototipo creado).

3.3.1 Identificación y asociación de los elementos estructurales de la TUI

Este tipo de TUI se clasifica en *Token and Constraint* teniendo en cuenta la taxonomía propuesta en el Capítulo 2, donde la superficie de la interfaz limita el comportamiento de los objetos (Las figuras de los animales), es decir las figuras debe colocarse en cierta posición de la superficie para generar una respuesta del sistema.

El comportamiento relacionado con los objetos que la componen está dada de la siguiente manera, en una primera instancia se tiene una interacción del usuario con el objeto (Figura del animal) y este a su vez, una relación de objeto (Figura del animal en cuestión) con objeto (Superficie); en este caso se contempla que el usuario debe interactuar al colocar o desplazar el objeto y este a su vez debe interrelacionarse para generar una salida que varía de acuerdo al animal escogido.

3.3.2 Descripción de metáforas

Las figuras asociadas a los diferentes animales empleadas en la TUI, guardan una estrecha relación con la forma de los animales en el mundo físico es decir son dibujos animados en vez de fotografías reales.

3.3.3 Aspectos funcionales de AnimalesTUI

AnimalesTUI es un programa desarrollada en Java utilizando el entorno de desarrollo *neatbeans* donde se empleó paquete *javax.sound.midi* para realizar la lectura de los dispositivos MIDI, previamente se programa el Arduino® en *processing* para que la *Touch Board* se comporte como un controlador MIDI.

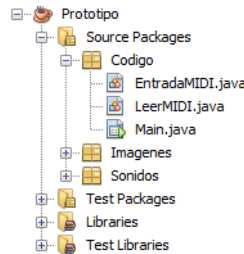


Ilustración 23. Estructura del código de AnimalesTUI (Imagen propia del prototipo creado).

AnimalesTUI tiene las siguientes carpetas: Imágenes (contiene las ilustraciones de los 12 animales), sonidos (Contiene los sonidos de los 12 animales) y código; en esta última carpeta se encuentra tres clases donde *LeerMIDI* (Se encarga de la lectura de los controladores MIDI), *Main* (Contiene los elementos visuales de la interfaz) y *EntradaMIDI* (Se encarga de identificar los pines de la tarjeta y generar la respuesta teniendo en cuenta el pin seleccionado por el usuario).

3.3.4 Diagrama de caso de uso

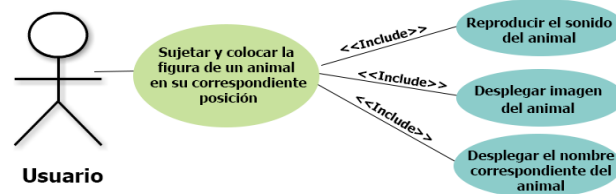


Ilustración 24. Sujetar y colocar la figura del animal en su correspondiente posición (Imagen propia).

3.3.5 Prototipo de papel

En el diseño inicial se pensó para que el usuario con solo tocar con el dedo alguna de las figuras asociadas a animales se generara una salida auditiva (Sonido del animal) y visual (Imagen y el nombre del animal) adicionalmente se empleó el uso de un nuevo objeto para la TUI, el cual es la figura del animal (las figuras son doce correspondiente a los animales empleados en la interfaz) que el usuario debe colocar en su correspondiente posición para generar una respuesta del sistema, de esta manera se hizo más dinámica la interacción.

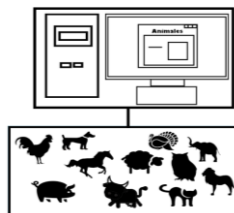


Ilustración 25. Diseño inicial del TouchTUI como teclado MIDI (Imagen propia).

Durante el proceso de desarrollo de la interfaz se optó por realizar modificaciones en cuanto a las figuras empleadas así como también su distribución en la TUI.

3.3.6 Diagrama de dialogo

AnimalesTUI solo emplea una posible interacción (sujetar y colocar la figura del animal en su correspondiente posición), por ende no se contempló más funcionalidades dado que el propósito de la TUI es generar un sonido y una visualización de información (Imagen y texto) de acuerdo al animal escogido por el usuario.

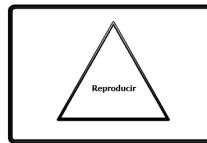


Ilustración 26. Visualización general del estado de TouchTUI (Imagen propia).

3.3.7 Diagrama de Tarea

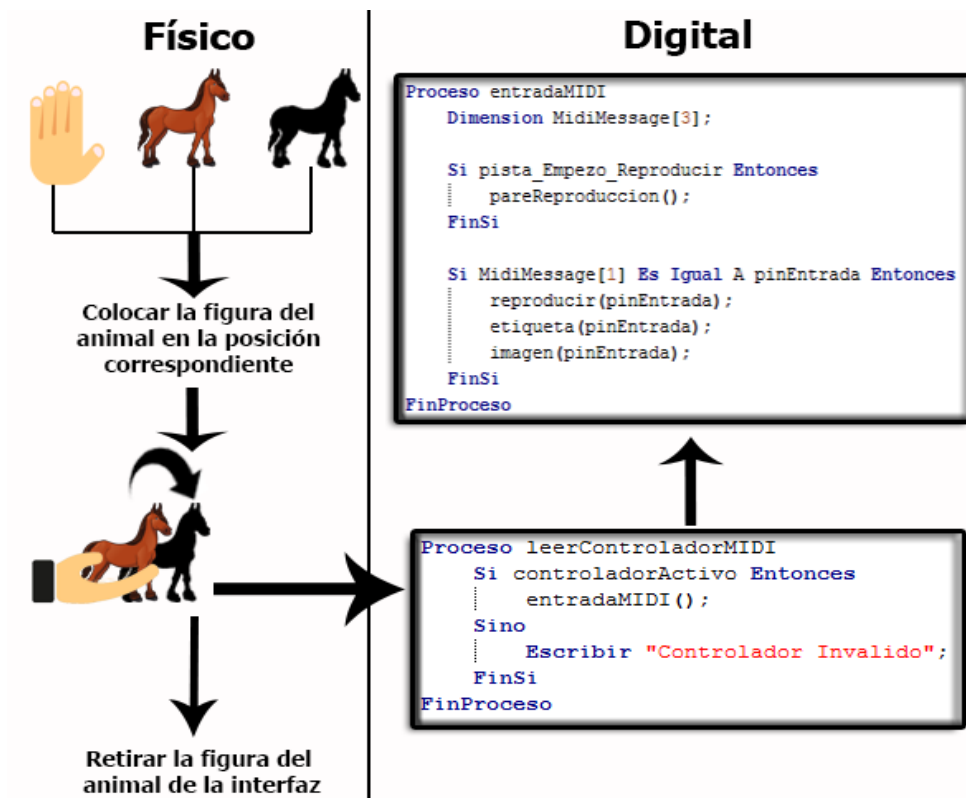


Ilustración 27. Diagrama de tarea creado para el AnimalesTUI, Eventos generados desde el mundo físico desencadenan una serie de instrucciones en el mundo digital (Imagen propia).

3.4 Prototipo TUI: DodecaDVD

DodecaDVD es una TUI, compuesta por una figura geométrica denominada dodecaedro (poliedro de doce caras), que tiene asociado un vídeo musical a cada una de sus caras y

una superficie plana transparente. El usuario debe apoyar la cara elegida sobre la superficie genera un evento, el cual carga en el navegador el vídeo asociado a la cara.

3.4.1 Identificación y asociación de los elementos estructurales de la TUI

Esta TUI se clasifica como Superficie interactiva y distante teniendo en cuenta la taxonomía propuesta en el capítulo 2, dado que la superficie de la interfaz reconoce al objeto participante (Dodecaedro) y permite identificar el movimiento, identidad y comportamiento o evento que debería generar, aunque la información no se despliega en la superficie si lo hace en el ordenador, por tanto difiere un poco de la definición de superficie interactiva, pero si es un híbrido entre ambas taxonomías. Adicionalmente, el comportamiento relacionado con los objetos que la componen está dado por una interacción (Usuario - Dodecaedro) y una interrelación (Dodecaedro – Superficie).

3.4.2 Descripción de metáforas

La figura empleada tiene la forma de un dodecaedro, aunque la manera de emplearla no se asocia a un comportamiento o acción del mundo real.

El usuario realizará una acción: Apoyar el dodecaedro sobre la superficie.

3.4.3 Aspectos funcionales de DodecaDVD

DodecaDVD es un programa desarrollado en Java utilizando el entorno de desarrollo *neatbeans* donde se empleó un *framework* llamado *ReacTIVision*, el cual permite la identificación de un objeto al que se le asocia un marcador fiducial (Ver Ilustración 28) realizando un seguimiento en tiempo real del mismo. Para lo cual extrae el *frame* de la imagen fuente y posteriormente convierte la imagen en blanco y negro con un algoritmo de umbral adaptativo donde se segmenta en un árbol, en el cual se alterna las regiones blancas y negras, se busca en este, una secuencia dada por la profundidad del árbol que han sido codificadas en el marcador fiducial. Finalmente la secuencia se busca y se extrae el número id asociado como se aprecia en la Ilustración 29.



Ilustración 28. (Kaltenbrunner & Bencina, 2005). *Marcador Fiducial*.

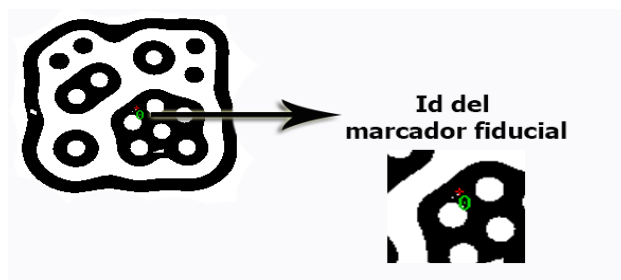


Ilustración 29. *Marcador Fiducial* (tomado con el programa suministrado por el *framework* de *ReacTIVision*).

Se emplea un protocolo OSC enviando un mensaje a la aplicación cliente, el cual implementa a su vez el protocolo TUIO que codifica la presencia, ubicación, orientación e identidad del marcador fiducial. En la Ilustración 30 se presenta la estructura de la aplicación cliente.

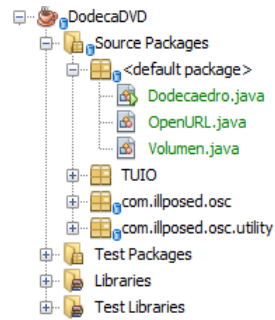


Ilustración 30. Estructura del código de DodecaDVD (Imagen propia del prototipo creado).

3.4.4 Diagrama de caso de uso

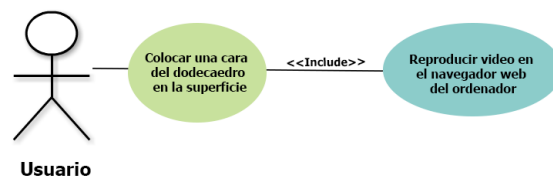


Ilustración 31. Colocar una cara del dodecaedro en la superficie (Imagen propia).

3.4.5 Prototipo de papel

El diseño se pensó para que el usuario sujetara el dodecaedro y colocara una cara mirando a la superficie, lo cual abrirá un vídeo musical en el navegador web del ordenador como se puede apreciar en la Ilustración 32.

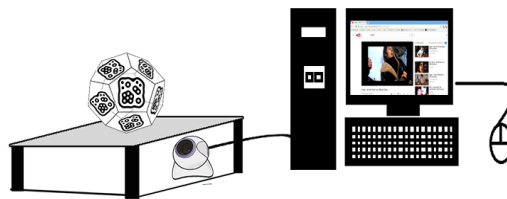


Ilustración 32. Diseño inicial del DodecaDVD (Imagen propia).

3.4.6 Diagrama de dialogo

DodecaDVD solo emplea una posible interacción (Colocar el dodecaedro en la superficie), por lo cual, no se considera necesario generar la ilustración asociado al estado de la TUI.

3.4.7 Diagrama de Tarea

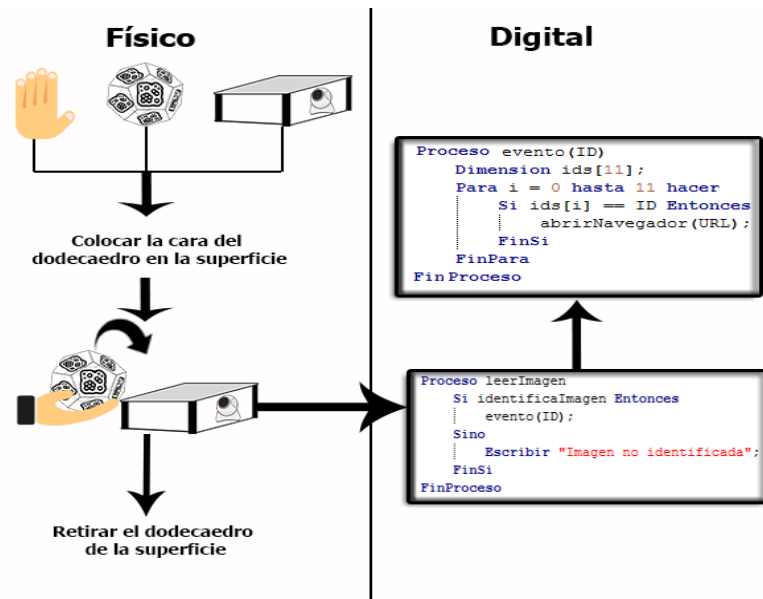


Ilustración 33. Diagrama de tarea creado para el DedocaDVD, Eventos generados desde el mundo físico desencadenan una serie de instrucciones en el mundo digital (Imagen propia).

3.5 Elementos físicos empleados para la construcción de los prototipos

3.5.1 Menú, TouchTUI y AnimalesTUI

En el proceso de construcción de los prototipos Menú, TouchTUI y AnimalesTUI, se empleó varios elementos que permitieron darles vida, en primera instancia se cuenta con una *Touch Board* y la tinta *Electric Paint*, que son los elementos centrales y no habituales en el desarrollo de una interfaz de usuario convencional, como lo son: cartón paja, papel, pincel, marcadores, grafito, bisturí entre otros. A continuación se realiza una breve descripción de ellos:

Touch Board: Es un dispositivo que permite crear prototipos electrónicos, su diseño se basa en el Arduino® Leonardo, por lo tanto es compatible con Arduino®, adicionalmente maneja la parte táctil, la detección a distancia, reproducción de archivos de audio en formato MP3 y la funcionalidad MIDI. La ficha técnica se encuentra en **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia..**



Ilustración 34. Touch Board (Imagen propia).

Electric Paint: Es una pintura a base de agua, la cual conduce electricidad, se puede utilizar para crear superficies capacitivas con el *Touch Board*, por lo cual convierte casi cualquier objeto en interactivo, adicionalmente se puede utilizar junto con componentes eléctricos, materiales de prototipos, PCBs (Plaqueta de circuito impreso), microcontroladores (*Touch Board*, Arduino®, *raspberry Pi*, *MaKey MaKey*, *lilyPad*), entre otros. La ficha técnica se encuentra en **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia..**



Ilustración 35. Tintas Electric Paint (Imagen propia).

3.5.2 DodecaDVD

En el proceso de construcción de DodecaTUI, se empleó varios elementos que permitieron darle vida, en primera instancia se cuenta con una cámara, vidrio acrílico transparente, abrazadera tipo C, pies de goma con respaldo adhesivo, entre otros, que son los elementos principales, adicionalmente se utilizaron otros elementos de bajo costo como son: papel, cartón paja, cartulina, bisturí entre otros.

3.6 Conclusiones

- La propuesta del modelado y taxonomía definida en la Sección 2.2.2, sirvió de base al momento de caracterizar los prototipos desarrollados, ya que facilitó el diseño y mejoramiento de los mismos, donde cada objeto tiene una clasificación de acuerdo con el papel que desempeñan en la TUI, y se identifica la metáfora a emplear teniendo en cuenta el objetivo del prototipo y los usuarios finales, adicionalmente permite divisar una primera vista del diseño de la interfaz donde se realizó simulaciones para observar si la distribución de los diferentes elementos visuales que conforman la TUI tenían coherencia y si resultaban sencillos para la comprensión de un usuario no experto; los diagramas del modelado apoyaron la implementación de los cuatro prototipos donde se logró entender, clasificar, divisar e identificar los diferentes componentes tanto físicos como digitales que intervienen en una TUI.
- La descripción de la metáfora definida en el modelado, facilitó la comprensión del usuario sobre la dinámica y manejo de la interfaz, lo cual permite al usuario una interacción natural.
- Los diagramas de diálogo empleados en los prototipos construidos en este trabajo de grado no tuvieron relevancia porque solo se contempló una posible interacción, por lo cual no hubo cambios de estados.
- Para facilitar el diseño fue necesario proponer un modelado junto con una taxonomía como se mencionó anteriormente, esto se debe a que no se encontró un esquema o estándar definido, para apoyar la creación de una TUI, sin embargo durante el proceso de revisión de literatura se encontraron pautas que no encajaron del todo con los prototipos que se implementaron, dado que las taxonomías resultaban incompletas al

momento de clasificar los prototipos así como también las representaciones visuales no modelaban la parte digital, por lo fue necesario realizar modificaciones a los diagramas propuesto por Shaer donde se abarco y especifico lo que sucede cuando se genera una manipulación de un objeto en la parte digital.

- Durante el proceso de implementación de los prototipos, se identificó la facilidad al momento de trabajar con una tarjeta compatible Arduino® como lo es *Touch Board*, esto se debe al número considerable de foros e información que se puede encontrar en *Internet*, aunque si se desea trabajar con un Arduino® robusto la complejidad aumenta, en cuanto a los conocimientos mínimos que se deben tener para realizar un buen prototipo.
- La tinta *Electric Paint* permitió una fácil conexión entre la *Touch Board* con los elementos físicos de la interfaz, pero su periodo de vida, una vez abierto es de 6 meses, después de este tiempo la tinta se hace viscosa y va perdiendo conductividad. Cuando se aplica la tinta sobre una superficie su periodo útil dependerá del ambiente y de las condiciones en que se tenga, lo cual no resulta viable si se desea producción a mayor escala.
- Para el prototipo DodecaDVD se trabajó con el *framework ReacTIVision*, el cual facilita la lectura de los marcadores fiduciales gracias al procesamiento de los *frames* que obtiene en tiempo real, adicionalmente se encuentra buena información y foros que facilitan el entendimiento sobre los componentes que brinda este.

Capítulo 4

ANÁLISIS DE FACILIDAD DE USO DE LOS PROTOTIPOS DESARROLLADOS

El proceso de evaluación consiste en un método no probabilístico donde se buscó realizar un estudio exploratorio sobre los prototipos implementados en este trabajo, para lo cual se realizó un registro en vídeo donde quedo constatado la manera en que los diferentes usuarios manejaban los prototipos de TUI, adicionalmente se les realizo preguntas sencillas para medir el grado de satisfacción sobre la interfaz presentada.

A continuación se presenta las evaluaciones realizadas a los prototipos implementados donde se empleó: **un guion de tareas** para este punto se tiene en cuenta las tareas que se pueden desarrollar con el prototipo estableciendo un guion que permita sugerir a los usuarios -¿qué?- debe hacer con el elemento, pero no se dice él -¿cómo?- precisamente para descubrir las brechas comunicativas (Scolari, 2004) de la interfaz; **un plan de evaluación** propuesto por (Navarro-Newball et al., 2014) y una **evaluación a partir de heurísticas**, para lo cual se tuvo en cuenta una lista de chequeo de heurísticas básicas de usabilidad propuesta por (Nielsen, 1993), pero fue necesario hacerle los respectivos ajustes dado que se trata de una TUI y no una aplicación web.

4.1 Prototipo: Menú

El proceso de evaluación se les realizo a cuatro personas, los cuales interactuaron directamente con el prototipo y generaron sus comentarios respecto al uso de la carta-menú.

Los cambios generados en la primera iteración fueron muy importantes pues ayudaron a profundizar más en la funcionalidad de la interfaz (TUI).

4.1.1 Guion de tarea

La tarea entonces es hacer un pedido utilizando la carta-menú, esta tarea tiene unas actividades particulares que permiten al usuario completarla.

- Interactuar con la carta-menú.
- Seleccionar platos y escuchar el audio asociado, con la descripción del plato.
- Solicitar al mesero para realizar el pedido.

4.1.2 Plan de evaluación

Objetivo	Encontrar sugerencias y puntos de vista propios en la manipulación e interacción con el prototipo de menú.
Reseña	El usuario debe realizar un pedido utilizando el menú descubriendo su utilización, adicionalmente no se le va a dar mayor información de la estrictamente necesaria al usuario.
Población	Comensales potenciales entre los 30 hasta los 70 años de ambos sexos y diversos niveles de escolaridad.
Proceso de evaluación	Mientras el usuario interactúa con la carta, observará todos sus elementos. Se realizará un registro en vídeo para su posterior análisis.
Objetivo del Menú	Proveer una experiencia granular frente al uso de una carta donde se tenga más información dependiendo de lo deseado.
Consentimiento informado	Se les solicitará verbalmente a los usuarios potenciales si se les puede realizar un registro en vídeo para posteriores análisis y conclusiones.
Ciclo de vida del proceso	Esta evaluación se realiza en la primera etapa del ciclo de desarrollo incluso antes del establecimiento de requisitos.
Método general y actividades	El usuario potencial tendrá plena libertad de expresar las ideas y comentarios que se le ocurran durante el proceso de interacción, al llevar la prueba se instará a que se realicen comentarios que permitan la realización de un análisis profundo de los elementos de la propuesta con base en el prototipo de baja fidelidad. Para la reproducción de los elementos seleccionados por parte del usuario se empleará un parlante que estará conectado por cable a la carta de menú.
Plan	La actividad tomará un tiempo de 20-25 minutos incluyendo preguntas y/o comentarios del usuario potencial y los demás asistentes.
Persona responsable	Persona a cargo del desarrollo del prototipo TUI.

Tabla 6. Plan de evaluación del prototipo de Menú.

4.1.3 Primera interacción con el prototipo de Menú

Para este primer prototipo de TUI se optó por realizar una prueba inicial para validar el diseño inicial de la interfaz con lo cual se obtuvo una retroalimentación como se aprecia a continuación:

4.1.3.1 Características y comentarios de la prueba realizada

La prueba se realizó en una sesión de la clase, considerando la baja complejidad funcional del prototipo fue posible realizar un recorrido cognitivo de un usuario quien hizo comentarios y observaciones con el acompañamiento del curso, de este análisis surgieron las siguientes observaciones:

- Las etiquetas que indican las propiedades del plato son informativas, sin embargo, el usuario las percibió como interactivas e intentó modificar las propiedades del plato.
- En la zona que se tiene dispuesta para ubicación del selector el usuario hundió este espacio como si fuera un botón.
- Los selectores debían colocarse frente a los platos, pero el usuario lo percibió como adornos de la carta, luego alguien le comentó que se podían mover, a pesar de que había un texto que lo indicaba no fue visto por la posición en que se encontraba.
- Nunca utilizó los elementos dispuestos para el sonido dado que su apariencia remembró un argollado de cuaderno.
- Se generó una confusión en la ubicación de los selectores.

4.1.3.2 Ausencias

El audio no debe ser meramente la lectura de lo que está ahí, se sugiere que el audio complemente o profundice la información presentada en la carta.

4.1.3.3 Cambios realizados en la siguiente iteración

- Eliminar las etiquetas de características del plato para que no sean percibidas como elementos de interacción, para la parte informativa puede hacerse con el audio.
- Eliminar los selectores.
- Crear un icono que indique de mejor forma que allí va a salir un sonido (Se ha sugerido utilizar un icono de parlante).
- Incluir audios que expliquen mejor los ingredientes y características de los platos.

4.1.4 Segunda iteración con el prototipo de Menú

Se desarrolló un segundo prototipo en papel con los cambios sugeridos para realizar las pruebas con nuevos usuarios, intentando reflejar la funcionalidad de la carta-menú a pesar de la baja fidelidad del elemento.

Se les hizo una breve explicación a la funcionalidad de la carta-menú sin entrar en detalles, el objetivo era encontrar más aspectos a mejorar.

La segunda carta-menú tiene una funcionalidad más concreta que la anterior, tiene un listado de platos que pueden ser escogidos y la posibilidad de escuchar una descripción en audio detallada de cada uno. Cuenta con una introducción en audio que explica de forma más profunda la especialidad del restaurante.

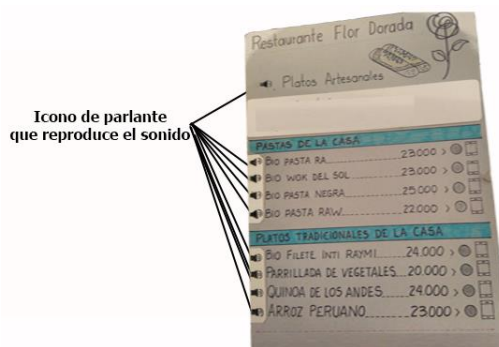


Ilustración 36. Diseño final del prototipo de Menú (Imagen propia).

4.1.4.1 Características y comentarios de la prueba realizada

- Con los iconos nuevos ya se entiende que tiene audio, sin embargo, para una persona de la tercera edad que tiene poco acercamiento con tecnologías digitales no fue tan claro.
- La idea de que la carta hable es muy innovadora sobre todo para la persona de la tercera edad porque le da más claridad del plato que va a seleccionar.
- La introducción nadie la escuchó, todos fueron directamente a los platos. Cuando se preguntó se dijo que estaban más concentrados en pedir los platos.

4.1.4.2 Evaluación heurística

#	Visibilidad del estado del sistema	Ausente	Aceptable	Excelente
1	Cada parte de la interfaz comienza con un título o encabezamiento que describe el contenido.			●
2	El esquema de diseño de los íconos y su estética es consistente.			●
3	Se distingue el elemento seleccionado de manera clara.			●
4	Existe algún tipo de retroalimentación para cada acción u operación realizada con la aplicación.		●	
5	Se ofrece algún tipo de retroalimentación que indique las acciones que pueden seleccionarse.			●
6	El tiempo de respuesta de tareas comunes oscila entre 2 y 4 segundos.			●
7	El usuario puede expresar verbalmente el estado actual del sistema y las alternativas de acciones que puede ejecutar en un momento determinado.		●	
8	La longitud del texto es apropiada para la comprensión.			●
9	Se utilizan metáforas para aprender el uso de los elementos.			●
Observaciones: La retroalimentación de las acciones es directa, dado que se da a partir de la manipulación de los elementos. Como ya se afirmó el icono de introducción del restaurante no fue utilizado, esto da un indicio de que su ubicación no es la adecuada, es probable que el color sirva de ayuda para resaltar este punto.				

Tabla 7. Visibilidad del estado del sistema del prototipo de Menú.

#	Lenguaje del usuario	Ausente	Aceptable	Excelente
1	Los íconos, acciones y navegación son concretos y familiares para el usuario.			•
2	Las tareas que se presentan en la interfaz están organizadas de manera jerárquica para el usuario.		•	
3	El lenguaje de la información presentada en la ayuda del audio es simple, clara y concisa.			•
4	Los títulos en los menús siguen un mismo estilo gramatical.			•
5	Los menús gráficos se activan de tal forma que el sistema indique "ahora haga esto".	•		
Observaciones: La jerarquización de las tareas se da en función de la necesidad del usuario, en las pruebas se vio que el interés está concentrado en los platos. No hay una direccionalidad paso a paso para usuarios poco expertos.				

Tabla 8. Lenguaje del usuario del prototipo de Menú.

#	Control y libertad para el usuario	Ausente	Aceptable	Excelente
1	Se puede deshacer una acción una vez ejecutada.	•		
2	El usuario puede dejar de tocar un determinado plato, sin afectar el sistema.			•
Observaciones: Se observó que se pueden establecer niveles de granularidad en el sentido de que los platos puedan ser descritos de manera más detallada dependiendo de la necesidad del usuario, adicionalmente no se contemplan acciones de deshacer dado que no son necesarias dado la naturaleza del prototipo.				

Tabla 9. Control y libertad para el usuario del prototipo de Menú.

Análisis de facilidad de uso de los prototipos desarrollados

#	Consistencia y estándares	Ausente	Aceptable	Excelente
1	Existe algún elemento visual que identifique la sección activa.			●
2	Cada sección tiene un título que la identifica.			●
3	La forma y el estilo usados en los títulos y encabezados son consistentes.			●
4	Las actividades, los botones, los íconos y las etiquetas tienen un propósito claro que corresponde a la tarea o el proceso.			●
5	Las técnicas para atraer la atención del usuario (por ej., sonidos, colores, animaciones, transiciones) son utilizadas de manera cuidadosa y mesurada.			●
6	Desde el punto de vista del color, ¿se utilizan cuatro o menos colores diferentes?			●
7	Los comandos utilizados son consistentes, naturales y poseen el mismo significado en todas las partes del sistema.			●
8	Existe una adecuada integración entre funciones y tareas, ¿La herramienta responde a la tarea deseada y al objetivo?		●	
9	Existe una disposición consistente de los contenidos de los elementos de la interfaz, lo cual reduce la carga cognitiva.			●
Observaciones: Se manejó una distribución de la información adecuada para una carta de pedidos, aunque la única variante es la posibilidad de brindar la información de manera auditiva, lo cual resulta conveniente para usuarios que tengan dificultad de leer contenido.				

Tabla 10. Consistencia y estándares del prototipo de Menú.

#	Prevención de errores	Ausente	Aceptable	Excelente
1	En toda la aplicación, ¿el sistema previene al usuario de cometer errores graves?	●		
2	Existen valores por defecto en las cajas de diálogo que hay que diligenciar.		●	
3	Los usuarios pueden fácilmente deshacer selecciones, acciones y errores.		●	
Observaciones: El sistema no da la posibilidad de cometer errores graves.				

Tabla 11. Prevención de errores del prototipo de Menú.

Análisis de facilidad de uso de los prototipos desarrollados

#	Reconocer antes que recordar	Ausente	Aceptable	Excelente
1	Existen espacios que diferencian claramente preguntas, apuntadores, puntos de inserción de respuestas, etc.			•
2	Los datos que el usuario necesita se muestran paso a paso para realizar la tarea de forma adecuada.			•
3	Se han agrupado los ítems en zonas lógicas, utilizando encabezamientos para distinguir entre dichas zonas.			•
4	Las zonas están debidamente separadas entre sí.			•
5	Las etiquetas de los campos están cercanas a los mismos y hay una relación directa de la información que contiene.			•
6	¿Se utilizan variaciones de tamaño tipográfico para para mostrar la importancia relativa de los diferentes ítems?			•
Observaciones: Al ser una interfaz tan sencilla es fácil hacer una separación de los respectivos elementos, esto es algo acertado que se evidenció con las pruebas del prototipo en papel.				

Tabla 12. Reconocer antes que recordar del prototipo de Menú.

#	Flexibilidad y Eficiencia de uso	Ausente	Aceptable	Excelente
1	El sistema soporta diversas categorías de usuarios (novato, intermedio y experto) y tiene disponibles diversas ayudas y mensajes de error	•		
2	Las listas de los menús son cortas.			•
3	Cuando el usuario necesita modificar o hacer cambios pequeños en una acción o actividad, ¿es necesario volver a hacer toda la actividad o repetir procedimientos?			•
Observaciones: La carta-menú no está pensada para la diversidad de usuarios, en las pruebas se observó que para los usuarios con habilidades en el uso de herramientas digitales fue mucho más fácil comprender la funcionalidad del icono (sonido), mientras que para los mayores no fue así. Por tanto, hay que implementar estrategias que permitan esa diversidad de usuarios.				

Tabla 13. Flexibilidad y Eficiencia de uso del prototipo de Menú.

Análisis de facilidad de uso de los prototipos desarrollados

#	Diseño estético y minimalista	Ausente	Aceptable	Excelente
1	La información esencial para tomar decisiones es mostrada en la carta.			•
2	Los íconos son visualmente distinguibles de acuerdo con su significado conceptual.		•	
3	Cada ícono tiene su individualidad dentro de una familia de íconos.		•	
4	Los íconos diseñados tienen un diseño sobrio y fácil de memorizar respecto a su función.			•
5	Los grupos de ítems con significado semejante están separados por espacios en blanco.			•
6	Los títulos de las acciones son breves, pero suficientemente largas como para comunicar su contenido.			•
7	La plataforma promueve un “sentimiento de presencia” desde el punto de vista estético.			•
Observaciones: El diseño de la información de la carta permite separar los elementos, sin embargo, si se trata de varias hojas sería necesario replantear algunas estrategias de diagramación y presentación de los contenidos.				

Tabla 14. Diseño estético y minimalista del prototipo de Menú.

#	Ayuda a los usuarios a reconocer, diagnosticar y recuperarse de los errores
Observaciones: En el diseño de la interfaz no se incluyó mensajes de error dado que el propósito del prototipo es brindar información al usuario, la cual es percibida de manera auditiva.	

Tabla 15. Ayuda a los usuarios a reconocer, diagnosticar y recuperarse de los errores del prototipo de Menú.

#	Ayuda general	Ausente	Aceptable	Excelente
1	Las instrucciones se distinguen visualmente.			•
2	Las instrucciones siguen la secuencia de acciones de los usuarios.			•
3	La interfaz ayuda al usuario a utilizarla de manera eficiente.		•	
4	Navegación: ¿La información es fácil de encontrar?			•
5	Presentación: ¿La disposición visual está bien diseñada?			•
6	Conversación: ¿La información es exacta, completa y comprensible?			•
7	Nivel descriptivo: ¿El sistema informa las funciones de cada objeto?		•	
8	Nivel procedimental: ¿El sistema informa cómo hacer la tarea?			•
9	Nivel de navegación: ¿El sistema informa donde está el usuario?	•		
Observaciones: Si bien, la TUI no brinda ayudas explícitas para entender su funcionamiento, su diseño simple facilita intuitivamente el entendimiento del sistema.				

Tabla 16. Ayuda general del prototipo de Menú.

4.1.4.3 Conclusiones

Luego de la realización de las respectivas pruebas y la aplicación de las heurísticas de usabilidad adaptadas para TUI, hay que tener en cuenta lo siguiente:

- La introducción de la carta-menú debe tener un elemento diferenciador para que los usuarios se sientan motivados a escuchar la presentación de bienvenida.
- Los iconos deben resaltarse más para que su funcionalidad sea más concreta.
- Las ayudas de la carta deben estar presentes en todo momento a petición del usuario.
- La carta-menú debe servir de igual manera para usuarios con diferentes niveles de destreza con el uso de herramientas digitales.
- Una interfaz de este tipo debe mantener su sencillez interactiva dado que su frecuencia de uso es muy baja y la diversidad de usuarios es evidente.

4.2 Prototipo: TouchTUI

El proceso de evaluación se les realizó a siete niños con edades entre los 8 a 9 años, los cuales son estudiantes de cuarto grado de primaria del colegio Bautista ubicado en el municipio Yumbo, el rector de colegio proporciono un cuarto independiente para realizar la prueba donde los niños interactuaron directamente con el prototipo y generaron sus comentarios respecto al uso del mismo.

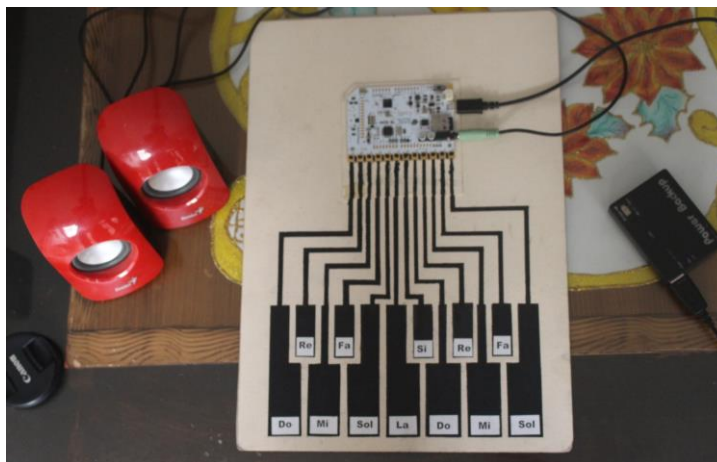


Ilustración 37. Prototipo TouchTUI (Imagen propia).

4.2.1 Guion de tarea

La tarea consistió en tocar una canción utilizando el TouchTUI, para lo cual el usuario debía realizar las siguientes actividades:

- Sentarse.
- Observar el TouchTUI.
- Revisar las teclas.
- Revisar si la melodía corresponde con las teclas.
- Tocar una o más melodías.
- Terminar la melodía.
- Retirarse.

4.2.2 Plan de evaluación

Objetivo	Encontrar sugerencias y puntos de vista propios en la manipulación e interacción con el TouchTUI.
Reseña	El usuario debe tocar una melodía utilizando TouchTUI descubriendo su utilización, adicionalmente no se le va a dar mayor información de la estrictamente necesaria al usuario.
Población	Niños entre los 8 hasta los 10 años de ambos sexos y un nivel de escolaridad primaria.
Proceso de evaluación	Mientras el usuario interactúa con el TouchTUI, observará todos sus elementos. Se realizará un registro en vídeo para su posterior análisis.
Objetivo del TouchTUI	Comprobar la relación del usuario con la TUI, es decir cómo responde a los aspectos técnicos (reiniciarla la tarjeta, el contacto, entre otros) y tecnológicos (si la programación de la tarjeta es de acuerdo a lo que se planteó inicialmente).
Consentimiento informado	Se le solicitó verbalmente y por escrito al rector del colegio Bautista de Yumbo, sobre la realización de un registro en vídeo para posteriores análisis y conclusiones, donde se resaltó que como son menores de edad, no se les enfocara la cara por razones acordadas con el colegio.
Ciclo de vida del proceso	Esta evaluación se realiza en la etapa final del ciclo de desarrollo.
Método general y actividades	El usuario potencial tendrá plena libertad de expresar las ideas y comentarios que se le ocurran durante el proceso de interacción, al llevar la prueba se instará a que se realicen comentarios que permitan la realización de un análisis profundo de los elementos de la propuesta con base en el prototipo de baja fidelidad. Para la reproducción de los elementos seleccionados por parte del usuario se empleara un parlante que estará conectado por cable al piano.
Plan	La actividad tomará un tiempo de 5-15 minutos incluyendo preguntas y/o comentarios del usuario potencial y los demás asistentes.
Persona responsable	Persona a cargo del desarrollo del prototipo TUI.

*Tabla 17. Plan de evaluación del prototipo de TouchTUI.***4.2.3 Características y comentarios de la prueba realizada**

Para la realización de la prueba, se indicó a cada usuario la tarea a realizar y el guion de la misma. La prueba se realizó con el propósito de observar el comportamiento y los comentarios realizados por el usuario, obteniéndose las siguientes conclusiones:

- En la etapa inicial de la prueba los usuarios se fijaban en el piano antes de interactuar con él, y expresaban su interés en cuanto a la manera en que se construyó el prototipo dado los materiales empleados.
- La mayoría de los usuarios identificaron en una primera instancia la interfaz como un instrumento musical (Piano) donde manifestaron que la forma de las teclas así como la de las etiquetas asociadas a las notas musicales permitieron una fácil asociación, es decir la interfaz resulto sencilla de entender gracias a la metáfora empleada.

Análisis de facilidad de uso de los prototipos desarrollados

- Los usuarios no empleaban las dos manos para interactuar con el piano, esto en gran medida se presentó por la poca experiencia en tocar este tipo de instrumento musical.
- Los usuarios tocaron las tres melodías suministradas para la prueba, las cuales presentaban un grado de dificultad (fácil, intermedio y avanzado). Sin embargo, se presentó dificultad en la última partitura dada la cantidad de notas y el tiempo necesario para tocar de manera fluida.

4.2.4 Ausencias

El TouchTUI no cuenta con el número de teclas necesarias para completar una octava y el grosor de las mismas es mayor, aunque se sale un poco de la convencional definida para un piano no presentó inconvenientes al momento de tocar las melodías en él.

4.2.5 Evaluación heurística

#	Visibilidad del estado del sistema	Ausente	Aceptable	Excelente
1	Cada tecla de la interfaz tiene una etiqueta que indica la nota asociada.			●
2	El esquema de diseño de las teclas y su estética es consistente.		●	
3	El usuario es capaz de identificar las teclas como un instrumento de entrada.			●
4	Existe algún tipo de retroalimentación para cada acción u operación realizada con la aplicación (Respuesta tecla).			●
5	Se utilizan metáforas para aprender el uso de los elementos			●
Observaciones: Las etiquetas con el nombre de las notas ubicados sobre cada una de las teclas guían al usuario a distinguirlo como un elemento de entrada, aunque no se maneja un encabezado con el nombre del instrumento musical, la mayoría de los sujetos de pruebas fueron capaces de identificar un piano, sin avisarles de antemano que era el objeto en frente de ellos, adicionalmente la retroalimentación de las acciones es directa, dado que se da a partir de la manipulación de los elementos (teclas).				

Tabla 18. Visibilidad del estado del sistema del prototipo de TouchTUI.

#	Lenguaje del usuario	Ausente	Aceptable	Excelente
1	Los íconos, acciones y navegación son concretos y familiares para el usuario.			●
2	Las tareas que se presentan en la interfaz están organizadas de manera jerárquica para el usuario.			●
3	El lenguaje de la información presentada en la ayuda del audio es simple, clara y concisa.			●
4	Se evidencia una asociación entre las teclas y el sonido que produce la TouchTUI.			●
Observaciones: La distribución del teclado permite a los usuarios tocar una melodía, aunque se evidencio en las pruebas que al ser usuarios no expertos en el momento de tocar, empleaban las dos manos pero alternándolas o usaban un mano únicamente, aun así siguen mostrando interés en la TouchTUI.				

Tabla 19. Lenguaje del usuario del prototipo de TouchTUI.

Análisis de facilidad de uso de los prototipos desarrollados

#	Control y libertad para el usuario	Ausente	Aceptable	Excelente
1	Se puede deshacer una acción una vez ejecutada.	●		
2	El usuario puede dejar de tocar una melodía, sin afectar el sistema.			●
Observaciones: Como es una aplicación sencilla donde se reproducen notas musicales no se contemplan acciones que puedan generar consecuencias dramáticas dado que las únicas consecuencias pueden darse es por factores técnicos (Tales como reiniciar la tarjeta, que la batería externa se desconecte de manera accidental, entre otros).				

Tabla 20. Control y libertad para el usuario del prototipo de TouchTUI.

#	Consistencia y estándares	Ausente	Aceptable	Excelente
1	Existe algún elemento visual que identifique la tecla activa.	●		
2	Cada tecla tiene un título que la identifica.			●
3	Las actividades, las teclas y las etiquetas tienen un propósito claro que corresponde a la tarea o el proceso.			●
4	Las técnicas para atraer la atención del usuario (por ej., sonidos, colores, animaciones, transiciones) son utilizadas de manera cuidadosa y mesurada.			●
5	Los comandos utilizados son consistentes, naturales y poseen el mismo significado en todas las partes del sistema.			●
6	Existe una adecuada integración entre funciones y tareas, ¿La herramienta responde a la tarea deseada y al objetivo?			●
7	Existe una disposición consistente de los contenidos de los elementos de la interfaz, lo cual reduce la carga cognitiva.			●
8	TouchTUI respeta las convenciones definidas para un piano tradicional		●	
Observaciones: TouchTUI no respeta las convenciones definidas para un piano moderno dado que estos vienen con 88 teclas (36 negras y 52 blancas) y el TouchTUI viene con 12 teclas blancas, aunque en los sujetos de prueba no presentó inconvenientes al momento de tocar una melodía.				

Tabla 21. Consistencia y estándares del prototipo de TouchTUI.

#	Prevención de errores	Ausente	Aceptable	Excelente
1	En toda la aplicación, ¿el sistema previene al usuario de cometer errores graves?	●		
2	Los usuarios pueden tocar una melodía de manera sencilla.		●	
Observaciones: TouchTUI no da la posibilidad de cometer errores graves, esto se debe a los pocos elementos visuales empleados en la interfaz.				

Tabla 22. Prevención de errores del prototipo de TouchTUI.

Análisis de facilidad de uso de los prototipos desarrollados

#	Reconocer antes que recordar	Ausente	Aceptable	Excelente
1	Existen espacios que diferencian claramente una tecla de otra.			●
2	Las etiquetas de las teclas están ubicadas de forma convincente y adicionalmente hay correspondencia entre la información mostrada respecto al sonido emitido.			●
Observaciones: Al ser una interfaz sencilla es fácil hacer una separación de los respectivos elementos, esto es algo acertado que se evidenció con la prueba realizada donde los usuarios manipulaban la interfaz sin contratiempos.				

Tabla 23. Reconocer antes que recordar del prototipo de TouchTUI.

#	Flexibilidad y Eficiencia de uso	Ausente	Aceptable	Excelente
1	Cuando el usuario necesita tocar una melodía diferente es necesario volver a hacer toda la actividad o repetir procedimientos.			●
2	El usuario emplea más de una mano para interactuar con el sistema.		●	
Observaciones: Se evidenció que al ser usuarios poco expertos en tocar piano algunos manejaban las dos manos de manera poco fluida.				

Tabla 24. Flexibilidad y Eficiencia de uso del prototipo de TouchTUI.

#	Diseño estético y minimalista	Ausente	Aceptable	Excelente
1	Las teclas son visualmente distinguibles.			●
2	Las teclas tienen un diseño sobrio y fácil de memorizar respecto a su función.			●
3	Las etiquetas de las notas musicales son breves, pero suficientemente largas como para comunicar su contenido.			●
4	La plataforma promueve un “sentimiento de presencia” desde el punto de vista estético.			●
Observaciones: La TouchTUI emplea las etiquetas necesarias para identificar cada una de las teclas con la correspondiente nota, lo que facilita a un usuario no experto al momento de tocar una melodía.				

Tabla 25. Diseño estético y minimalista del prototipo de TouchTUI.

#	Ayuda a los usuarios a reconocer, diagnosticar y recuperarse de los errores
Observaciones: Dado el propósito de la TouchTUI que es de reproducir sonidos asociados con las notas blancas de un piano, no se incluye mensajes de ayuda o de error porque no son considerados necesarios por la dinámica de la aplicación.	

Tabla 26. Ayuda a los usuarios a reconocer, diagnosticar y recuperarse de los errores del prototipo de TouchTUI.

#	Ayuda general	Ausente	Aceptable	Excelente
1	Las instrucciones se distinguen visualmente.			•
2	Las instrucciones siguen la secuencia de acciones de los usuarios.			•
3	La interfaz ayuda al usuario a utilizarla de manera eficiente.		•	
4	Navegación: ¿La información es fácil de encontrar?			•
5	Presentación: ¿La disposición visual está bien diseñada?			•
6	Conversación: ¿La información es exacta, completa y comprensible?			•
7	Nivel descriptivo: ¿El sistema informa las funciones de cada objeto?		•	
8	Nivel procedimental: ¿El sistema informa cómo hacer la tarea?			•
9	Nivel de navegación: ¿El sistema informa donde está el usuario?	•		
Observaciones: El diseño de la aplicación sencillo y asociado con un instrumento musical por lo cual no se brindan ninguna clase de ayuda al usuario aparte de la identificación de las notas musicales.				

Tabla 27. Ayuda general del prototipo de TouchTUI.

4.2.6 Conclusiones

- El diseño de la interfaz permitió al usuario identificarla como un instrumento musical pese a que no se respetó los estándares definidos para un piano convencional, dado que el número de las teclas es mayor.
- La distribución de los elementos que componen la interfaz facilita su utilización aunque el tamaño de las teclas se debe reducir un poco para mejorar la experiencia del usuario dado que algunos manifestaron inconveniente causados por la distancia entre ellas.
- Los usuarios expresaron su alegría al momento de interactuar con un instrumento musical diferente a los que generalmente se pueden encontrar en el mercado, esto se debe en gran medida a los materiales empleados para su construcción, los cuales despertaron el interés en ellos.

4.3 Prototipo: AnimalesTUI

El proceso de evaluación se les realizó a siete niños con edades entre los 4 a 5 años, los cuales son estudiantes de transición del colegio Bautista ubicado en el municipio Yumbo, el rector de colegio proporcionó un cuarto independiente para realizar la prueba donde los niños interactuaron directamente con el prototipo y generaron sus comentarios respecto al uso del mismo.

4.3.1 Guion de tarea

La tarea entonces es sujetar una figura asociada a un animal y colocar en la posición correspondiente en la superficie de AnimalesTUI, esta tarea tiene unas actividades particulares que permiten al usuario completarla.

- Sentarse.
- Observar el AnimalesTUI (Superficie).
- Revisar las fichas asociadas a los diferentes animales.
- Colocar cada ficha en la posición correspondiente de acuerdo al animal y verificar que el sonido corresponda con cada uno de los animales.
- Terminar de colocar cada animal en su correspondiente posición.
- Retirarse.

4.3.2 Plan de evaluación

Objetivo	Encontrar sugerencias y puntos de vista propios en la manipulación e interacción con el AnimalesTUI.
Reseña	El usuario debe sujetar cada una de la fichas y colocar en la posición correspondiente utilizando AnimalesTUI descubriendo su utilización, adicionalmente se brindó información adicional con el fin de facilitar la interacción.
Población	Niños entre los 4 hasta los 5 años de ambos sexos y un nivel de escolaridad de preescolar.
Proceso de evaluación	Mientras el usuario interactúa con AnimalesTUI, observará todos sus elementos. Se realizará un registro en vídeo para su posterior análisis.
Objetivo del TouchTUI	Comprobar la relación del usuario con AnimalesTUI, es decir cómo responde a los aspectos técnicos (reiniciarla la tarjeta, el contacto, entre otros) y tecnológicos (si la programación de la tarjeta es de acuerdo a lo que se planteó inicialmente).
Consentimiento informado	Se le solicitó verbalmente y por escrito al rector del colegio Bautista de Yumbo, sobre la realización de un registro en vídeo para posteriores análisis y conclusiones, donde se resaltó que como son menores de edad, no se les enfocara la cara por razones acordadas con el colegio.
Ciclo de vida del proceso	Esta evaluación se realiza en la etapa final del ciclo de desarrollo.
Método general y actividades	El usuario potencial tendrá plena libertad de expresar las ideas y comentarios que se le ocurran durante el proceso de interacción, al llevar la prueba se instará a que se realicen comentarios que permitan la realización de un análisis profundo de los elementos de la propuesta con base en el prototipo de baja fidelidad.
Plan	La actividad tomará un tiempo de 5-8 minutos incluyendo preguntas y/o comentarios del usuario potencial y los demás asistentes.
Persona responsable	Persona a cargo del desarrollo del prototipo TUI.

Tabla 28. Plan de evaluación del prototipo de AnimalesTUI.

4.3.3 Características y comentarios de la prueba realizada

La prueba consistió en permitir a los usuarios interactuar con la TUI indicándoles la tarea a realizar y el guion de la misma, con el propósito de observar el comportamiento y observaciones realizadas por el usuario surgiendo las siguientes conclusiones:

- En la etapa inicial de la prueba los usuarios se fijaban en la superficie antes de interactuar con ella, donde presentaban confusión sobre el funcionamiento del sistema, por lo cual se optó por dar una breve introducción para aclarar el propósito de la interfaz facilitando a los usuarios la interacción con la TUI.
- Se observó que los usuarios manejaron la TUI de dos formas diferentes, en primera instancia colocaban cada una de las fichas en su correspondiente posición hasta que se terminaban, deduciendo que habían finalizado; la otra forma era colocando y quitando cada una de las fichas de su correspondiente posición sin tener una condición de parada. Los usuarios que emplearon esta forma de interactuar con la TUI no utilizaban todas las fichas en su mayoría.
- Los sonidos e imágenes empleados para los animales se asociaban de manera coherente dado que los usuarios los asociaban de manera inmediata, y lo manifestaban diciendo el nombre del animal en cuestión.
- Se presente un caso con un estudiante que tenía una condición de discapacidad donde su capacidad auditiva es del 30%, y se observó que en un principio presiona de manera fuerte la superficie sin emplear las fichas, para lo cual se optó por darle una introducción sobre el funcionamiento de la misma y también se procedió a subir el volumen para que al momento de interactuar con la TUI escuchara el sonido del animal. De todas formas, se aclara que el prototipo no fue construido contemplando situación es de discapacidad como se indicó en los alcances del proyecto.
- La GUI no fue observada por la mitad de los usuarios dado que su atención se dio en la TUI por dinámica en la interacción.

4.3.4 Ausencias

Para facilitar la interacción con AnimalesTUI fue necesario dar una breve descripción o solo pasar una ficha del animal al usuario con el propósito de que entendiera el funcionamiento de la misma, lo cual demostró que pese a que los usuarios asociaron las fichas con animales, la metáfora empleaba para el funcionamiento no resulto familiar para ello, por lo cual se debe pensar en una manera que les resulte familiar e intuitiva el funcionamiento con solo verla.

Adicionalmente es necesario colocar un led sobre el animal activo para brindar información visual.

4.3.5 Evaluación heurística

#	Visibilidad del estado del sistema	Ausente	Aceptable	Excelente
1	Cada animal de la GUI tiene una etiqueta que indica el nombre del mismo.			•
2	El esquema de diseño de Animales TUI y su estética es consistente.		•	
3	El usuario es capaz de identificar las fichas de los animales como un instrumento de entrada.		•	
4	Existe algún tipo de retroalimentación para cada acción u operación realizada con la aplicación.			•
5	Se utilizan metáforas para aprender el uso de los elementos		•	
Observaciones: El sistema permite una interacción dinámica dado que emplea fichas físicas alusivas a animales que deben ser encajadas en la superficie, generando como salida: un sonido, imagen y nombre asociado al animal desde un ordenador, la retroalimentación de las acciones es directa dado que se da a partir de manipulaciones de los elementos (fichas y superficie) adicionalmente el sistema permite visualizar en un monitor en que animal quedo el usuario, pese a esto la mitad de los sujetos de prueba se concentraron en la superficie dejando a un lado el monitor.				

Tabla 29. Visibilidad del estado del sistema del prototipo de AnimalesTUI.

#	Lenguaje del usuario	Ausente	Aceptable	Excelente
1	Los íconos, acciones y navegación son concretos y familiares para el usuario.			•
2	Las tareas que se presentan en la interfaz están organizadas de manera jerárquica para el usuario.		•	
3	Los títulos de los animales siguen un mismo estilo gramatical.			•
4	Se evidencia una asociación entre las fichas y los animales al encajarlas en la superficie con el sonido, imagen y nombre que genera el sistema.			•
Observaciones: Las imágenes de los animales empleadas en la aplicación resultan conocidas para los usuarios, adicionalmente la distribución de las posiciones correspondientes con los animales de la superficie es adecuada al momento interrelaciona con las fichas.				

Tabla 30. Lenguaje del usuario del prototipo de AnimalesTUI.

#	Control y libertad para el usuario	Ausente	Aceptable	Excelente
1	Se puede deshacer una acción una vez ejecutada.	•		
2	El usuario puede dejar de sujetar y colocar las fichas de los animales en la superficie, sin afectar el sistema.			•
Observaciones: El propósito de la aplicación es dar a conocer algunos animales de una manera dinámica para los niños donde no se contempla la opción de deshacer para no generar inconvenientes en la interacción, adicionalmente el sistema permite al usuario conocer el animal que va en la posición correspondiente en la superficie esto se puede observar en el monitor que está unido con la TUI. además es muy complejo generar este tipo de funciones en un Arduino				

Tabla 31. Control y libertad para el usuario del prototipo de AnimalesTUI.

Análisis de facilidad de uso de los prototipos desarrollados

#	Consistencia y estándares	Ausente	Aceptable	Excelente
1	Existe algún elemento visual que identifique el animal activo en la TUI.			•
2	Cada animal tiene un título que lo identifique.			•
3	Las actividades, las imágenes, las fichas, los sonidos y los nombres tienen un propósito claro que corresponde a la tarea o el proceso.			•
4	Las técnicas para atraer la atención del usuario (por ej., sonidos, colores, animaciones, transiciones) son utilizadas de manera cuidadosa y mesurada.			•
5	Los comandos utilizados son consistentes, naturales y poseen el mismo significado en todas las partes del sistema.			•
6	Existe una adecuada integración entre funciones y tareas, ¿La herramienta responde a la tarea deseada y al objetivo?		•	
7	Existe una disposición consistente de los contenidos de los elementos de la interfaz, lo cual reduce la carga cognitiva.			•
Observaciones: AnimalesTUI emplea una dinámica diferente donde los usuarios interactúan con elementos tangibles que son analogías del mundo real, por ende no hay un estándar definido para este tipo de interfaz donde la mayoría de los desarrolladores utilizan metáforas para simplificar el entendimiento del usuario sobre el funcionamiento del sistema.				

Tabla 32. Consistencia y estándares del prototipo de AnimalesTUI.

#	Prevención de errores	Ausente	Aceptable	Excelente
1	En toda la aplicación, ¿el sistema previene al usuario de cometer errores graves?	•		
2	Los usuarios pueden sujetar la ficha y colocarla en su correspondiente posición de manera sencilla.			•
Observaciones: AnimalesTUI tiene ausencias en cuanto a la posición de la ficha en la superficie dado que el usuario puede colocar la ficha en una posición incorrecta y el sistema no indica la equivocación si ocurriera, esto es algo a corregir en una segunda versión del prototipo, no obstante durante la prueba no se presentó errores, dado que la ficha y la superficie sugirieron de manera intuitiva como se debe realizar la interacción.				

Tabla 33. Prevención de errores del prototipo de AnimalesTUI.

Análisis de facilidad de uso de los prototipos desarrollados

#	Reconocer antes que recordar	Ausente	Aceptable	Excelente
1	Existen espacios que diferencian claramente un animal de otro.			•
2	Las fichas de los animales están ubicadas a una distancia prudente.			•
3	Las fichas de los animales corresponden con la información mostrada en audio, imagen y nombre al interrelacionarse con la TUI.			•
Observaciones: AnimalesTUI es una aplicación compuestas por dos elementos físicos (fichas y superficie) lo que en cierta manera presento una dificultad al comienzo de la interacción, por lo cual el encargado de prueba opto por sujetar y entregar una primera ficha al usuario facilitando así la deducción sobre la dinámica del sistema.				

Tabla 34. . Reconocer antes que recordar del prototipo de AnimalesTUI.

#	Flexibilidad y Eficiencia de uso
Observaciones: AnimalesTUI fue creada para una población en específico, por ende no es apta para otro tipo de usuarios.	

Tabla 35. Flexibilidad y Eficiencia de uso del prototipo de AnimalesTUI.

#	Diseño estético y minimalista	Ausente	Aceptable	Excelente
1	Las imágenes asociadas a los animales son visualmente distinguibles.			•
2	Las fichas tienen un diseño sobrio y fácil de memorizar respecto a su función.			•
3	Los nombres de las animales son breves, pero suficientemente largas como para comunicar su contenido.			•
Observaciones: AnimalesTUI emplea pocos elementos visuales con el objetivo de facilitar la interacción sin sobrecargar al usuario donde las imágenes son sencillas con una armonía en color; los audios son concisos y los textos son breves.				

Tabla 36. . Diseño estético y minimalista del prototipo de Animales TUI.

#	Ayuda a los usuarios a reconocer, diagnosticar y recuperarse de los errores
Observaciones: AnimalesTUI no incluye mensajes de error porque no fueron considerados por la dinámica del sistema, adicionalmente no es posible identificar el animal porque no se maneja un identificar en la ficha física del objeto que representa el animal.	

Tabla 37. Ayuda a los usuarios a reconocer, diagnosticar y recuperarse de los errores del prototipo de AnimalesTUI.

Análisis de facilidad de uso de los prototipos desarrollados

#	Ayuda general	Ausente	Aceptable	Excelente
1	La GUI ayuda al usuario a utilizarla de manera eficiente.		•	
2	Navegación: ¿Los elementos tangibles son fáciles de encontrar?			•
3	Presentación: ¿La disposición visual está bien diseñada?		•	
4	Conversación: ¿Los elementos visuales son exactos, concisos y comprensibles?			•
5	Nivel descriptivo: ¿El sistema informa las funciones de cada objeto?		•	
6	Nivel procedimental: ¿El sistema informa cómo hacer la tarea?	•		
7	Nivel navegacional: ¿El sistema informa donde está el usuario?			•
Observaciones: AnimalesTUI no emplea ningún botón alusivo a una ayuda como tal, pero si brinda una guía al usuario donde le representa de manera visual el animal activo en el monitor unido a la interfaz tangible.				

Tabla 38. Ayuda general del prototipo de AnimalesTUI.

4.3.6 Conclusiones

En la prueba fue necesario emplear una dinámica diferente para explicar el propósito de la aplicación dado que se trata con niños con edades entre 4 a 5 años, lo cual resultó favorable ya que los usuarios evaluados mostraron interés y un sentimiento de entusiasmo al interactuar con los elementos que componen la TUI.

Aunque en el alcance de este trabajo no se contempló trabajar con personas en condición de discapacidad, se presentó un caso con un usuario que solo tenía una capacidad auditiva del 30%, lo cual diviso una falencia en el prototipo donde es necesario reforzar la retroalimentación visual al usuario en la superficie sobre el animal activo o emplear un mecanismo de vibración.

Capítulo 5

ANÁLISIS DE COSTOS Y TIEMPOS DE LOS PROTOTIPOS DESARROLLADOS

Durante la construcción de los diferentes prototipos implementados en este trabajo se concluyó la importancia de tener expertos en diferentes áreas del conocimiento como lo son: Un experto en el área de la electrónica quien brinde una asesoría sobre el tipo de dispositivos electrónicos a emplear (Tales como el tipo de Arduino®, sensor, led, entre otros); un experto en el área de diseño como un diseñador industrial (quien indica cómo construir los elementos tangibles de la interfaz), diseñador gráfico (Quien estudie la comunicación visual de los elementos tangibles) u otro dependiendo del prototipo; un Ingeniero de Sistemas quien realice la programación, donde capture la información suministrada por la interrelación del diseño con los diferentes elementos electrónicos empleados en el prototipo en cuestión, en este sentido el análisis de costos y tiempos de los prototipos implementados se hace en tres dimensiones: Elementos tangibles, elementos digitales y construcción de la TUI interrelacionando los elementos tangibles-digitales.

Para el desarrollo de este trabajo de grado se optó por manejar *Microsoft Project* para hacer un seguimiento, desde el proceso de estudio de la literatura hasta la implementación de cada uno de los prototipos.

En la Ilustración 38 se observa el porcentaje del costo para cada de las actividades definidas, donde el mayor porcentaje es en la búsqueda y revisión de fuentes bibliográficas y en la redacción del documento.



Ilustración 38. Porcentaje del Costo Vs. Actividad (Imagen propia).

En la Ilustración 39 se observa el porcentaje del tiempo versus cada una de las actividades, donde la redacción y recopilación del documento de texto se llevó la gran parte del tiempo dado que se trabajaba en paralelo con las demás actividades.

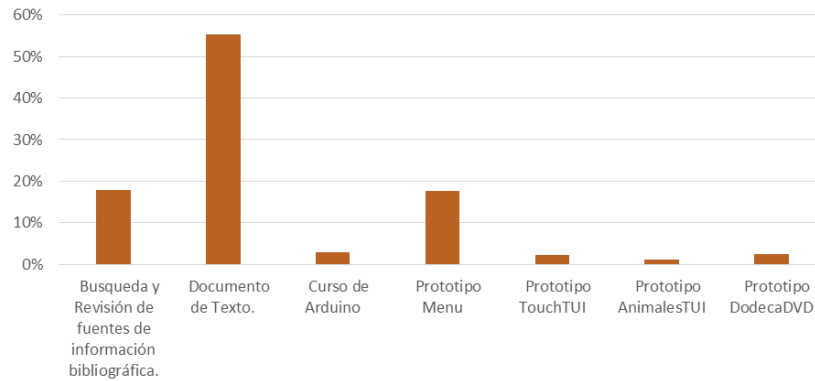


Ilustración 39. Tiempo Vs. Actividad (Imagen propia).

En la Ilustración 40 se observa la cantidad del trabajo en horas de acuerdo a los meses en los que se ejecutó el trabajo de grado, donde se observa que el mayor tiempo de dedicación fueron en los primeros meses.

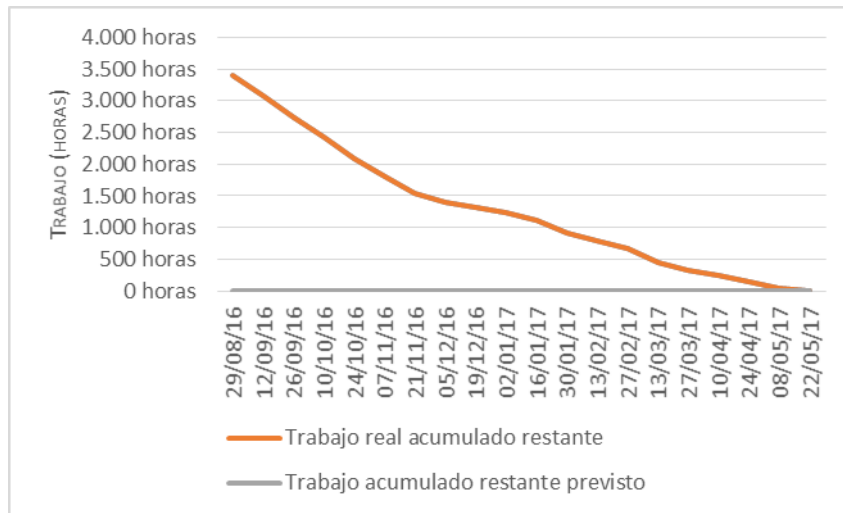


Ilustración 40. Tiempo Vs. Trabajo (Imagen propia).

5.1 Elementos tangibles

Son aquellos elementos necesarios para la construcción de la parte visual y de funcionamiento de la TUI.

Variable	Análisis
<i>Touch Board</i>	<i>Touch Board</i> se utilizó en los tres prototipos por su facilidad de uso tanto en la parte <i>Hardware</i> como de <i>Software</i> , dado que las conexiones se realizan con <i>Electric Paint</i> simplificando significativamente el tiempo de construcción, en comparación con otras tarjetas, como por ejemplo un Arduino® uno donde la complejidad aumenta ya que es necesario la creación de un circuito si se tiene en cuenta que es un prototipo se podría pensar en una <i>protoboard</i> pero esto, pero no sería viable por el número de conexiones necesarias, las cuales se realizan con cables siendo como practico, también se pensó eliminar el uso de la <i>protoboard</i> y utilizar un circuito impreso pero esto implicaría un costo adicional.
Tinta <i>Electric Paint</i>	<i>Electric Paint</i> facilito de manera significativa la conexión con la tarjeta donde el empleo de otros elementos como el cable de cobre con pinzas de caimán resultan inconvenientes para un prototipo que iba estar en movimiento donde al menor descuido no iba ser contacto o generaría un corto circuito se entraba en relación con otro caimán.
Materiales físicos	Los materiales físicos como cartón paja, Cartón industrial, pinceles, cobre, caimanes, impresiones, cinta para enmascarar, silicona líquida, bisturí, tijeras, balso, entre otros.

Tabla 39. Elementos tangibles empleados en la construcción de los prototipos.

5.2 Elementos digitales

Son los lenguajes empleados en cada uno de los prototipos, donde se especifica el tiempo de programación para cada uno de ellos.

Ítem	Prototipo	Descripción
Lenguaje del dispositivo electrónico (<i>Touch Board</i>)	Menú	<i>Proccesing</i>
	TouchTUI	
	AnimalesTUI	
Lenguaje del programa externo	AnimalesTUI	<i>Java</i>
	DodecaDVD	

Tabla 40. Elementos digitales empleados en la construcción de los prototipos.

5.3 Construcción de la TUI interrelacionando los elementos tangibles-digitales

Este apartado tiene como finalidad contemplar el tiempo empleado en la construcción física para generar la visualización de la información y de los elementos tangibles empleados en los diferentes prototipos implementados. En la Ilustración 41 se observa el porcentaje del tiempo en comparativo entre los prototipos.

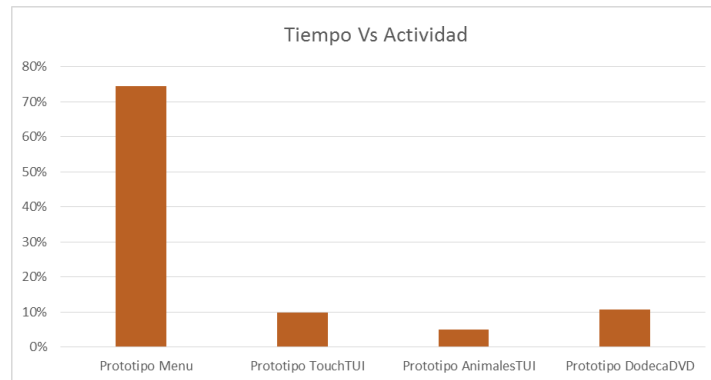


Ilustración 41. Tiempo (Porcentaje) Vs Prototipo implementado (Imagen propia).

5.4 Conclusiones

- Durante el proceso de la implementación de los prototipos fue necesario contar con opiniones de expertos en diferentes áreas del conocimiento para garantizar la funcionalidad del mismo, lo cual evidencia la necesidad de contar con un grupo interdisciplinario para la construcción de una TUI comprendido como mínimo por un experto en electrónica, un experto en diseño industrial y gráfico y un experto en computación.
- Al contar con un grupo interdisciplinario, el proceso de construcción se optimiza en tiempo y costos dado que se cuenta con personas que brindaran retroalimentación oportuna y eficiente en cada campo de aplicación.
- Los prototipos implementados permitieron ir escalando en dificultad de tal forma que primero se realizó una exploración del entorno y lenguaje de programación implementado por la *Touch Board*, luego se incursiono en la creación de un instrumento musical, que a su vez era empleado por un programa de producción musical con solo conectarlo al ordenador; gracias a estas primeras implementaciones, surgió el interés de crear un programa propio que empleara la *Touch Board* pero que a la vez fuera conectado a un ordenador, dando lugar a AnimalesTUI. En general, a medida que se fueron generando cada uno de los prototipos la curva de aprendizaje se reducía en cuanto a la programación de la tarjeta pero la complejidad aumentaba dado que cada prototipo implica conectar la TUI con nuevos elementos.
- No se puede definir un precio estándar para la construcción de un prototipo de TUI, dado que el costo varía dependiendo del tipo de interfaz que se quiere implementar.

Capítulo 6

CONCLUSIONES Y TRABAJOS FUTUROS

6.1 Conclusiones

Se realizó una exploración de aspectos teóricos y prácticos relacionados con el desarrollo de interfaces de usuario tangibles, en el cual se analizó la definición del concepto de TUI desde el punto de vista de diversos autores, quienes proponen sus caracterizaciones ligadas a los prototipos creados, generando diferentes tipos de taxonomías, lo cual genera información diseminada, este fue básicamente el problema que dio origen a este trabajo de grado. Por tanto se optó por proponer un conjunto de caracterizaciones que en cierto modo agruparan a la mayoría de las TUI encontradas en el estado de arte y que concordaran con los prototipos implementados, dando como resultado, no solo definiciones sino un marco de trabajo donde se incluye la parte del diseño del prototipo, lo que facilitó la aceptación por parte de los usuarios finales.

Se diseñó y se implementó cuatro prototipos de TUI, los cuales permitieron ir incursionando en dificultad, en una primera instancia se exploró con la *Touch Board* donde se aprendió sobre los detalles técnicos y teóricos de la misma, posteriormente se optó por relacionar una GUI con una TUI creando un programa propio y finalmente se empleó un objeto físico dotado con capacidad de cómputo para generar un evento específico en un ordenador, cada una de estas etapas permitió no solo generar mejores prototipos sino aprender de cada uno de ellos y ampliar la perspectiva.

Se identificó la necesidad de tener un grupo interdisciplinario para facilitar la construcción de este tipo interfaz, en el cual es necesario tener como mínimo ingeniero electrónico, un diseñador (gráfico e industrial) y un ingeniero de sistemas, esto se debe a los diferentes aspectos que conlleva la construcción de una TUI, es necesario conocer los dispositivos electrónicos a emplear así como también conocer el material, las dimensiones y estudiar la comunicación visual para la construcción de los elementos aprehensibles, posteriormente se debe capturar la información suministrada por la interrelación del diseño con los diferentes elementos electrónicos empleados en el prototipo en cuestión.

Durante la evaluación de la funcionalidad de los prototipos se observó la aceptación por parte de los usuarios, quienes expresaron su entusiasmo al interactuar con ellas e incluso manifestaron su deseo de crear sus propias TUI. Adicionalmente en la evaluación de AnimalesTUI con los usuarios finales, se presentó un caso con un niño que solo tenía una capacidad auditiva del 30 %, aunque en el alcance del trabajo se destacó que no se tendría en cuenta personas en situación de discapacidad, se procedió con la evaluación, esta experiencia permitió identificar carencias del prototipo frente a otro tipo de usuario.

El costo asociado a la construcción de una TUI varía dependiendo de las siguientes variables: Elementos tangibles, elementos digitales y la construcción (La parte lógica y física) dado que cada TUI se puede realizar con más o menos elementos teniendo en cuenta el propósito con el cual se desee construir.

6.2 Trabajo Futuro

- Mejorar el modelado y la taxonomía propuesta ejemplificándolo con otros tipos de TUI, con el propósito de encontrar posibles falencias o ausencias.
- Integrar al prototipo de AnimalesTUI una retroalimentación visual en la superficie, con el fin objetivo de brindar una ayuda sobre el estado del sistema, adicionalmente emplear un proyector para que la ayuda gráfica sea percibida con mayor facilidad, adicionalmente incorporar un sistema de alertas para personas en condiciones de discapacidad.
- Realizar el proceso de evaluación del prototipo DodecaDVD, con el fin de analizar el comportamiento del usuario frente a este tipo de interacción.
- Desarrollar el prototipo de TouchTUI en una escala mayor empleando un Arduino® uno, un circuito impreso y sensores de movimiento, adicionalmente brindar una imagen proyectada con la melodía que el usuario debe tocar.
- Construir un prototipo de TUI para usuarios en condición de discapacidad, y generar una posible pauta sobre los elementos a tener en cuenta.
- Dado el crecimiento en el área de la electrónica se deben explorar otro tipo de dispositivos como diferentes tipos de sensores, tarjetas *Raspberry Pi*, Arduino® *Lilypad* entre otras.

REFERENCIAS

- Almeida Lara, C. D. (2016). *Recovity, juego con realidad aumentada tangible basada en interfaces mixtas fisico-virtual sobre elementos de juego no convencionales*. San Francisco de Quito - USFQ. Retrieved from <http://repositorio.usfq.edu.ec/bitstream/23000/6016/1/129444.pdf>
- Arent, B. (2009). TUI: Jive, social networking for grandparents. Retrieved February 10, 2017, from <http://jive.benarent.co.uk/>
- Arias, E., Eden, H., & Fischer, G. (1997). Enhancing communication, facilitating shared understanding, and creating better artifacts by integrating physical and computational media for design. *ACM*. Retrieved from <http://l3d.cs.colorado.edu/systems/EDC/pdf/dis97.pdf>
- Artola, V., Sanz, C., Gorga, G., & Pesado, P. (2014). Diseño de un juego basado en Interacción Tangible para la enseñanza de Programación. *Instituto de Investigación En Informática – LIDI. Facultad de Informática. Universidad Nacional de La Plata*, 2–8.
- Ayala Cajas, C. A. (2015). *Propuesta de una interfaz de usuario isotónica-isométrica para control de sistemas de realidad mixta para la educación*. Universidad Autónoma de Madrid.
- Banzi, M. (2012). *Introducción a Arduino*. Anaya Multimedia. Retrieved from https://books.google.com.co/books?id=N-_4ugAACAAJ&dq=arduino+basico&hl=es-419&sa=X&ved=0ahUKEwjlpqKrLzVAhVMKCYKHUpFDskQ6AEIKjAB
- Ben-Joseph, E., Ishii, H., Underkoffler, J., Piper, B., & Yeung, L. (1999). Urban Simulation and the Luminous Planning Table Bridging the Gap between the Digital and the Tangible. *Journal of Planning Education and Research*, 21, 196–203.
- Benchimol, D. (2011). *Electrónica práctica* (Fox Andina). Argentina.
- BIOPROFE. (2016). Teoría Capacidad y Condensadores. Retrieved from <https://bioprofe.com/es/teoria-capacidad-y-condensadores/>
- Camarata, K., Yi - Luen Do, E., Gross, M. D., & Johnson, B. R. (2002). Navigational Blocks : Tangible Navigation of Digital Information. *CHI '02 Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems*, 1, 752–753. <https://doi.org/10.1145/506443.506580>
- Cañas, J. J., & Wærn, Y. (2001). *Ergonomía cognitiva : aspectos psicológicos de la interacción de las personas con la tecnología de la información*. Editorial Médica Panamericana.
- Carles F, J., Gallardo, D., & Jordà, S. (2009). TurTan: Un Lenguaje de programación tangible para el aprendizaje. *Interacción* 2009, 10. Retrieved from <http://mtg.upf.edu/files/publications/TurTanCut.pdf>
- Carrasco Hernández, M. A., García Espinosa, L. M., & Núñez Abad, J. (2012). *Instalaciones eléctricas básicas*. Paraninfo.
- Causa, E. (n.d.). Desarrollo de una Aplicación con Interfaces Tangibles, 1–16.
- Conductive, B. (2015). Touch Board- Technical Data Sheet. Retrieved from https://www.bareconductive.com/wp-content/uploads/2017/04/TouchBoard_TechnicalDataSheet.pdf

- Cordella Sandoval, P. C. (2011). *Uso de Interfaces Tangibles para mejorar la Interacción en los videojuegos*. Universidad de Chile.
- Córtés Rico, L. J. (2015). *ApTui - Framework para el diseño participativo de interacciones tangibles*. Pontificia Universidad Javeriana.
- Costanza, E., Shelley, S. B., & Robinson, J. A. (2003). D-Touch: A consumer-grade tangible interface module and musical applications. In *Proceedings of Conference on Human-Computer Interaction (HCI03)*. (pp. 1–4).
- Couture, N., Legardeur, J., & Riviere, G. (2008). Tangible user interface integration in engineering. *International Journal on Interactive Design and Manufacturing*, 2(3), 175–182. <https://doi.org/10.1007/s12008-008-0046-4>
- De La Guía, E., Lozano, M. D., & Penichet, V. M. R. (2016). Sistema Interactivo Basado en Interfaces de Usuario Tangibles y Distribuidas para la Mejora de Habilidades Cognitivas. Retrieved from <https://biblioteca.sistedes.es/wp-content/uploads/2016/04/Sistema-Interactivo-Basado-en-Interfaces-de-Usuario-Tangibles-y-Distribuidas-para-la-Mejora-de-Habilid.pdf>
- Domingo Olivera, F. (2011). *Interfaces de usuario laterales: estudio y desarrollo de tecnologías para permitir la interacción sutil*. Universidad Autónoma de Madrid.
- Fishkin, K. P. (2004). A taxonomy for and analysis of tangible interfaces. In *Personal and Ubiquitous Computing* (Vol. 8, pp. 347–358). <https://doi.org/10.1007/s00779-004-0297-4>
- Fishkin, K. P., Gujar, A., Harrison, B. L., Moran, T. P., & Want, R. (2000). Embodied User Interfaces for Really Direct Manipulation. *Magazine Communications of the ACM*, 43(9), 74–80. <https://doi.org/10.1145/348941.348998>
- Garcia-sanjuan, F., Catala, A., Jaen, J., & Mocholi, J. A. (n.d.). Una Interfaz Tangible para la Navegación Genérica de Estructuras de Colección. *Grupo ISSI, Departamento de Sistemas Informáticos Y Computación Universitat Politècnica de València, Camí de Vera S/N, 46022 Valencia, España*, 3–14.
- Goilav, N., & Loi, G. (2016). *Arduino : aprender a desarrollar para crear objetos inteligentes*. Ediciones ENI.
- Goldin-Meadow, S. (1979). Structure in a manual communication system developed without a conventional language model: language without a helping hand. *Academic Press, New York, Studies in*, 125–209.
- Goldin-Meadow, S. J. (1978). *The representation of semantic relations in a manual language created by deaf children of hearing parents: a language you can't dismiss out of hand*. Xerox University Microfilms.
- Hewett, Baecker, Card, Carey, Gasen, Mantei, ... Verplank. (2009). CHAPTER 2: Human-Computer Interaction. In *Curricula for Human-Computer Interaction*. Retrieved from http://old.sigchi.org/cdg/cdg2.html#2_1
- Hideyuki, S., & Hiroshi, K. (1993). AlgoBlock: a tangible programming language, a tool for collaborative learning. *Proceedings of 4th European Logo Conference*, (June 2016), 297–303.
- Holmquist, L. E., Redström, J., & Ljungstrand, P. (1999). Token-Based Access to Digital Information. In *HUC '99 Proceedings of the 1st international symposium on Handheld and Ubiquitous Computing* (pp. 234–245). Berlin, Heidelberg. Retrieved from <http://www.viktoria.informatics.gu.se/play/>
- Horn, M. S., Solovey, E. T., & J.K Jacob, R. (2008). Tangible Programming and Informal Science Learning: Making TUIs Work for Museums. *IDC '08 Proceedings of the 7th International Conference on Interaction Design and Children*, 194–201. <https://doi.org/10.1145/1463689.1463756>
- Hornecker, E., & Psik, T. (2005). Using ARToolKit Markers to Build Tangible Prototypes and Simulate

- Other Technologies. In M. F. Costabile & F. Paternò (Eds.), *Proceedings of the 2005 IFIP TC13 international conference on Human-Computer Interaction* (pp. 30–42). Springer-Verlag Berlin, Heidelberg ©2005. https://doi.org/10.1007/11555261_6
- Ishii, H. (2006). Tangible User Interfaces. In *MIT Media Laboratory* (pp. 1–17).
- Ishii, H., Fitzmaurice, G. W., & Buxton, W. (n.d.). Bricks: Laying the Foundations for Graspable User Interfaces. In I. R. Katz, R. Mack, L. Marks, M. B. Rosson, & J. Nielsen (Eds.), *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems* (pp. 442–449). New York, NY, USA: ACM Press/Addison-Wesley Publishing Co. <https://doi.org/10.1145/223904.223964>
- Ishii, H., & Ullmer, B. (1997). Tangible bits: Towards seamless interfaces between people, bits and atoms. In *Proc. of CHI'97*, 234–241.
- Ishii, H., & Ullmer, B. (1997). The metaDESK : Models and Prototypes for Tangible User Interfaces.
- Ishii, H., Wisneski, C., Orbanes, J., Chun, B., & Paradiso, J. (1999). PingPongPlus: design of an athletic-tangible interface for computer-supported cooperative. *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems: The CHI Is the Limit*, 394–401. <https://doi.org/http://doi.acm.org/10.1145/302979.303115>
- Jordà, S. (2009). The reactable: Tabletop Tangible Interfaces for Multithreaded Musical Performance. *Revista KEPES Año*, 6(5), 201–223.
- Kaltenbrunner, M., & Bencina, R. (2005). reactIVision. Retrieved January 31, 2017, from <http://reactivision.sourceforge.net/>
- Levin, G., & Yarin, P. (1999). Bringing Sketching Tools to Keychain Computers with an Acceleration-Based Interface. In *CHI '99 Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems* (pp. 268–269). Pittsburgh, Pennsylvania: ACM. <https://doi.org/10.1145/632716.632881>
- Ljungstrand, P., Redström, J., & Holmquist, L. E. (2000). WebStickers: Using Physical Tokens to Access, Manage and Share Bookmarks to the Web. In *Proceedings of DARE 2000 on Designing augmented reality environments* (pp. 23–31). <https://doi.org/10.1145/354666.354669>
- Maher, M. Lou, & M I Jeong, K. (2005). Comparison of designers using a tangible user interface and a graphical user interface and the impact on spatial cognition. In *Proceedings of International Workshop on Human Behaviour in Designing* (pp. 1–14).
- Marshall, P. (2007). Do tangible interfaces enhance learning?, 1–8.
- Melrose, J., Perroy, R., & Careas, S. (2015). *Temas de diseño en Interacción Humano-Computadora. Statewide Agricultural Land Use Baseline 2015* (Vol. 1). <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Muro Haro, B. P., Santana Mancilla, P. C., & Garcia Ruiz, M. A. (2012). Uso de interfaces tangibles en la enseñanza de lectura a niños con síndrome de Down, 19–25.
- Muro Haro, P. B., Santana Mancilla, P. C., & Garcia Ruiz, M. A. (2012). Uso de interfaces tangibles en la enseñanza de lectura a niños con síndrome de Down.
- Navarro-Newball, A. A., Loaiza, D., Oviedo, C., Castillo, A., Portilla, A., Linares, D., & Álvarez, G. (2014). Talking to Teo: Video game supported speech therapy. <https://doi.org/10.1016/j.entcom.2014.10.005>
- Nielsen, J. (1993). *Usability engineering*. Academic Press. Retrieved from <http://www.sciencedirect.com/science/book/9780125184069>
- Park, Y., & Woo, W. (n.d.). The ARTable: An AR-Based Tangible User Interface System. Retrieved from <http://uvr.gist.ac.kr>

- Pedrerá Caicedo, A. (2017). *Arduino para principiantes*. CREATSPACE INDEPENDENT P.
- Pillias, C., Robert-Bouchard, R., & Leveux, G. (2008). Designing Tangible Video Games: Lessons Learned from the Sifteo Cubes. <https://doi.org/10.1145/2556288.2556991>
- Piper, B., Ratti, C., & Ishii, H. (2002). Illuminating Clay: A 3-D Tangible Interface for Landscape Analysis. In *CHI '02 Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems* (pp. 355–362). <https://doi.org/10.1145/503376.503439>
- Pomares Baeza, J. (2009). Manual de programación de arduino. Retrieved from <https://rua.ua.es/dspace/bitstream/10045/11833/1/arduino.pdf>
- Rebola, C. B. (2015). *Designed Technologies for Healthy Aging*.
- Resnick, M., Martin, F., Berg, R., Borovoy, R., Colella, V., Kramer, K., & Silverman, B. (1998). Digital Manipulatives: New Toys to Think. Retrieved from <http://web.media.mit.edu/~mres/papers/chi-98/digital-manip.html>
- Rodríguez Corral, J. M., & Estévez, A. (2014). Aplicación del uso de interfaces tangibles de usuario a la enseñanza de lenguajes de programación. *Departamento de Ingeniería Informática, Escuela Superior de Ingeniería. Universidad de Cádiz.*, 1–4.
- Romano, C. (2013). *Electricidad y circuitos eléctricos* (Vol. 3). Retrieved from <https://juanmitemcnologia.wikispaces.com/file/view/corriente+electrica.pdf>
- Schietecatte, B., & Vanderdonck, J. (2008). AudioCubes: A distributed Cube Tangible Interface based on Interaction range for sound design.
- Scolari, C. (2004). *Hacer clic: hacia una sociosemiótica de las interacciones digitales*. Editorial Gedisa. Retrieved from https://books.google.com.co/books?id=JqUAAQAACAAJ&dq=hacer+clic+carlos+scolari+pdf&hl=es-419&sa=X&ved=0ahUKEwiFwe_Kl6fTAhXHSyYKHTRICHQ6AEIITAA
- Shaer, B. O., & Hornecker, E. (2009). Tangible User Interfaces: Past, Present, and Future Directions. *Foundations and Trends in Human-Computer Interaction*, 3(1–2), 1–137. <https://doi.org/10.1561/11000000026>
- Shaer, O., & Jacob, R. J. K. (2009). A Specification Paradigm for the Design and Implementation of Tangible User Interfaces. *ACM*, V, 1–39.
- Shaer, O., Leland, Æ. N., & Jacob, R. J. K. (2004). The TAC paradigm: specifying tangible user interfaces. In *Personal and Ubiquitous Computing* (Vol. 8, pp. 359–369). <https://doi.org/10.1007/s00779-004-0298-3>
- Shaer, O. Zi. (2008). TUIML: A Visual Language for Modeling Tangible User Interfaces, 1–27.
- Small, D., & Ishii, H. (1997). Design of spatially aware graspable displays. In *CHI EA '97 CHI '97 Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems* (pp. 367–368). New York, New York, USA: ACM Press. <https://doi.org/10.1145/1120212.1120437>
- Swift, A. (n.d.). An introduction to MIDI. Retrieved March 23, 2017, from http://www.doc.ic.ac.uk/~nd/surprise_97/journal/vol1/aps2/
- Torrente, Ó. (2013). *ARDUINO, Curso básico de formación*. <https://doi.org/9788494072505>
- Torrente Artero, O. (2013). *Arduino: curso práctico de formación*. RC Libros.
- Ullmer, B. (2002). *Tangible interfaces for manipulating aggregates of digital information*. Massachusetts Institute of Technology.
- Ullmer, B., & Ishii, H. (1999). *MediaBlocks: Tangible interfaces for online media*. *CHI '99 Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems*. ACM, New York, NY, USA.

<https://doi.org/10.1145/632716.632739>

- Ullmer, B., & Ishii, H. (2001). Emerging frameworks for tangible user interfaces. *IBM Systems Journal*, 39(3–4), 915–931. <https://doi.org/10.1147/sj.393.0915>
- Underkoffler, J., & Hiroshi, I. (1999). URP: A Luminous-Tangible Workbench for Urban Planning and Design. In *CHI '99 Proceedings of the SIGCHI conference on Human Factors in Computing Systems* (pp. 386–393). <https://doi.org/10.1145/302979.303114>
- Wiethoff, A., & Broll, G. (2011). SoloFind: Chains of Interactions with a Mobile Retail Experience System. In *CHI '11 Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems* (pp. 1303–1308). Vancouver, BC, Canada: ACM. <https://doi.org/10.1145/1979742.1979765>
- Wyeth, P., & Wyeth, G. (2001). Electronic Blocks: Tangible Programming Elements for Preschoolers. In M. Hirose (Ed.), *Human-Computer Interaction INTERACT '01*. Amsterdam: IOC Press.
- Yasufumi, T., Tomohiro, I., & Hiroshi, I. (2015). NFC-based Tangible User Interface for information curation and its application to analogy game. In *Procedia Computer Science* (Vol. 60, pp. 1263–1270). Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2015.08.192>
- Zufferey, G., Jermann, P., Lucchi, A., & Dillenbourg, P. (2009). TinkerSheets: Using Paper Forms to Control and Visualize Tangible Simulations. In *Proceedings of TEI09* (pp. 337–384). ACM. Retrieved from <https://infoscience.epfl.ch/record/131014/files/Zufferey-TEI-2009.pdf>